

核技术利用建设项目
超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台
(STCF-BTP) 环境影响报告书
(公示稿)

中国科学技术大学
二〇二五年十二月

环境保护部监制

核技术利用建设项目
超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台
(STCF-BTP) 环境影响报告书
(公示稿)

建设单位名称：中国科学技术大学

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：合肥市蜀山区合作化南路 42 号

邮政编码：230022 联系人：何丽娟

电子邮箱：lijuanhe@ustc.edu.cn 联系电话：18255102850

目录

1 概述	- 1 -
1.1 项目名称、地点	- 1 -
1.2 项目概况	- 3 -
1.2.1 建设单位	- 3 -
1.2.2 项目背景和意义	- 4 -
1.2.3 建设规模	- 5 -
1.2.4 选址符合性分析	- 11 -
1.2.5 产业政策相符性	- 12 -
1.2.6 与规划符合性分析	- 12 -
1.2.7 现有核技术利用情况及辐射安全管理现状	- 14 -
1.3 编制依据	- 18 -
1.3.1 法律、法规	- 18 -
1.3.2 部门规章及规范性文件	- 18 -
1.3.3 技术规范和标准	- 20 -
1.3.4 项目相关文件	- 20 -
1.3.5 参考文献	- 21 -
1.4 评价重点	- 22 -
1.5 评价标准	- 22 -
1.5.1 剂量限值和剂量约束值	- 22 -
1.5.2 放射性废水排放	- 23 -
1.5.3 放射性固废处置	- 25 -
1.5.4 非放射性环境评价标准	- 25 -
1.6 评价范围和保护目标	- 26 -
1.6.1 评价范围	- 26 -
1.6.2 保护目标	- 29 -
2 自然环境与社会环境状况	- 30 -
2.1 自然环境状况	- 30 -
2.1.1 地理位置	- 30 -
2.1.2 地形、地貌、地质	- 30 -
2.1.3 水文	- 31 -
2.1.4 气候与气象	- 34 -
2.1.5 生物多样性	- 34 -
2.2 社会环境状况	- 34 -
2.2.1 人口分布与经济发展	- 34 -
2.2.2 文物古迹及风景名胜	- 35 -
2.3 环境质量和辐射现状	- 35 -
2.3.1 监测内容	- 35 -
2.3.2 监测（分析）依据和监测设备	- 36 -
2.3.3 质量保证措施	- 39 -
2.3.4 监测结果	- 39 -
2.3.5 小结	- 43 -
2.4 场址适宜性评价	- 43 -
3 工程分析与源项	- 44 -
3.1 项目规模与基本参数	- 44 -

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

3.1.1 原有项目概况.....	44 -
3.1.2 本次评价内容.....	46 -
3.2 工程设备与工艺分析.....	47 -
3.2.1 射线装置原理.....	47 -
3.2.2 工艺分析.....	48 -
3.2.3 产污环节分析.....	51 -
3.2.4 工作负荷.....	54 -
3.3 污染源项.....	54 -
3.3.1 瞬发辐射场.....	55 -
3.3.2 天空反散射.....	56 -
3.3.3 感生放射性.....	58 -
3.3.4 臭氧等有害气体的产生.....	65 -
3.3.5 电磁辐射.....	67 -
3.4 废弃物.....	67 -
3.4.1 放射性废弃物.....	67 -
3.4.2 非放射性废弃物.....	68 -
4 辐射安全与防护设施.....	70 -
4.1 场所布局与分区.....	70 -
4.1.1 场所布局.....	70 -
4.1.2 辐射工作场所分区.....	70 -
4.2 辐射屏蔽.....	73 -
4.2.1 屏蔽设计.....	73 -
4.2.2 辐射屏蔽计算方法.....	77 -
4.3 辐射安全与防护措施.....	78 -
4.3.1 人身安全联锁系统.....	78 -
4.3.2 辐射监测系统.....	89 -
4.3.3 通风系统.....	97 -
4.3.4 电离辐射警告标志设置.....	98 -
4.3.5 辐射安全与防护设施小结.....	98 -
4.4 三废治理.....	101 -
4.4.1 放射性污染防治.....	101 -
4.4.2 非放射性污染防治.....	105 -
4.5 服务期满后的环境保护措施.....	105 -
5 环境影响分析.....	106 -
5.1 建设阶段环境影响分析.....	106 -
5.2 运行阶段环境影响分析.....	106 -
5.2.1 辐射源项.....	106 -
5.2.2 建模仿真预测.....	108 -
5.2.3 经验公式计算.....	128 -
5.2.4 建模仿真与经验公式预测结果校验分析.....	154 -
5.2.5 辐射工作人员受照剂量估算.....	155 -
5.2.6 公众成员受照剂量估算.....	157 -
5.3 事故工况下的环境影响.....	162 -
5.3.1 事故情景.....	162 -
5.3.2 事故后果分析及预防措施.....	163 -
6 辐射安全管理.....	164 -
6.1 机构与人员.....	164 -

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

6.1.1 机构.....	- 164 -
6.1.2 辐射工作人员的管理.....	- 165 -
6.2 辐射安全管理规章制度.....	- 178 -
6.3 生态环境部门检查情况.....	- 179 -
6.4 辐射监测.....	- 181 -
6.4.1 年度辐射监测情况.....	- 181 -
6.4.2 辐射环境监测计划.....	- 182 -
6.4.3 监测设备配置情况.....	- 182 -
6.4.4 个人剂量监测.....	- 183 -
6.4.5 竣工环保验收监测.....	- 184 -
6.5 辐射事故应急.....	- 185 -
6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价.....	- 186 -
6.7 小结.....	- 187 -
7 利益-代价分析.....	- 188 -
7.1 利益分析.....	- 188 -
7.2 代价分析.....	- 189 -
7.2.1 社会代价.....	- 189 -
7.2.2 经济代价.....	- 189 -
7.2.3 环境代价.....	- 189 -
7.3 正当性分析.....	- 190 -
8 公众参与.....	- 191 -
8.1 公众参与方案.....	- 191 -
8.1.1 公众参与目的.....	- 191 -
8.1.2 主要调查内容.....	- 191 -
8.1.3 调查范围和对象.....	- 191 -
8.2 信息公开.....	- 192 -
8.2.1 发布建设项目环境影响公众参与调查公示.....	- 192 -
9 结论与建议.....	- 195 -
9.1 项目工程概况.....	- 195 -
9.2 辐射安全与防护.....	- 195 -
9.3 环境影响分析.....	- 196 -
9.4 辐射安全管理.....	- 197 -
9.5 结论.....	- 197 -
9.6 建议和承诺.....	- 198 -
9.7“三同时”竣工环保验收一览表.....	- 199 -

附件：

附件1 委托书

附件2 项目立项相关文件

附件3 合肥先进光源配套工程环评批复

附件4 中国科学技术大学辐射安全许可证

附件5 辐射安全与防护管理机构及管理制度

附件6-1 个人剂量检测报告

附件6-2 职业健康检查报告

附件6-3 注册核安全工程师证书及辐射安全考核证书（部分）

附件7 2024年度辐射安全评估报告上传截图

附件8 生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改报告

附件9 基础资料情况说明

附件10 环评现状监测报告

附件11 加速器测试大厅相关图纸

附表：

建设项目环境影响报告书审批基础信息表

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

建设性质：改扩建

建设地点：安徽省合肥市长丰县岗集镇合肥先进光源配套工程加速器测试大厅，项目地理位置图详见图 1.1-1；

建设单位：中国科学技术大学

建设规模：本项目拟依托合肥光源配套工程已建成的加速器测试大厅，使用一台电子直线加速器（最高能量 100MeV，属 I 类射线装置）；

建设时序：合肥先进光源配套工程原计划在加速器测试大厅建造的 1 台 120MeV 电子直线加速器不再实施，仅开展加速管老炼（60MeV），在老炼平台退役后实施本项目。

项目投资：总投资 6280 万元，其中环保投资约 212 万元，占总投资额的 3.3%。

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

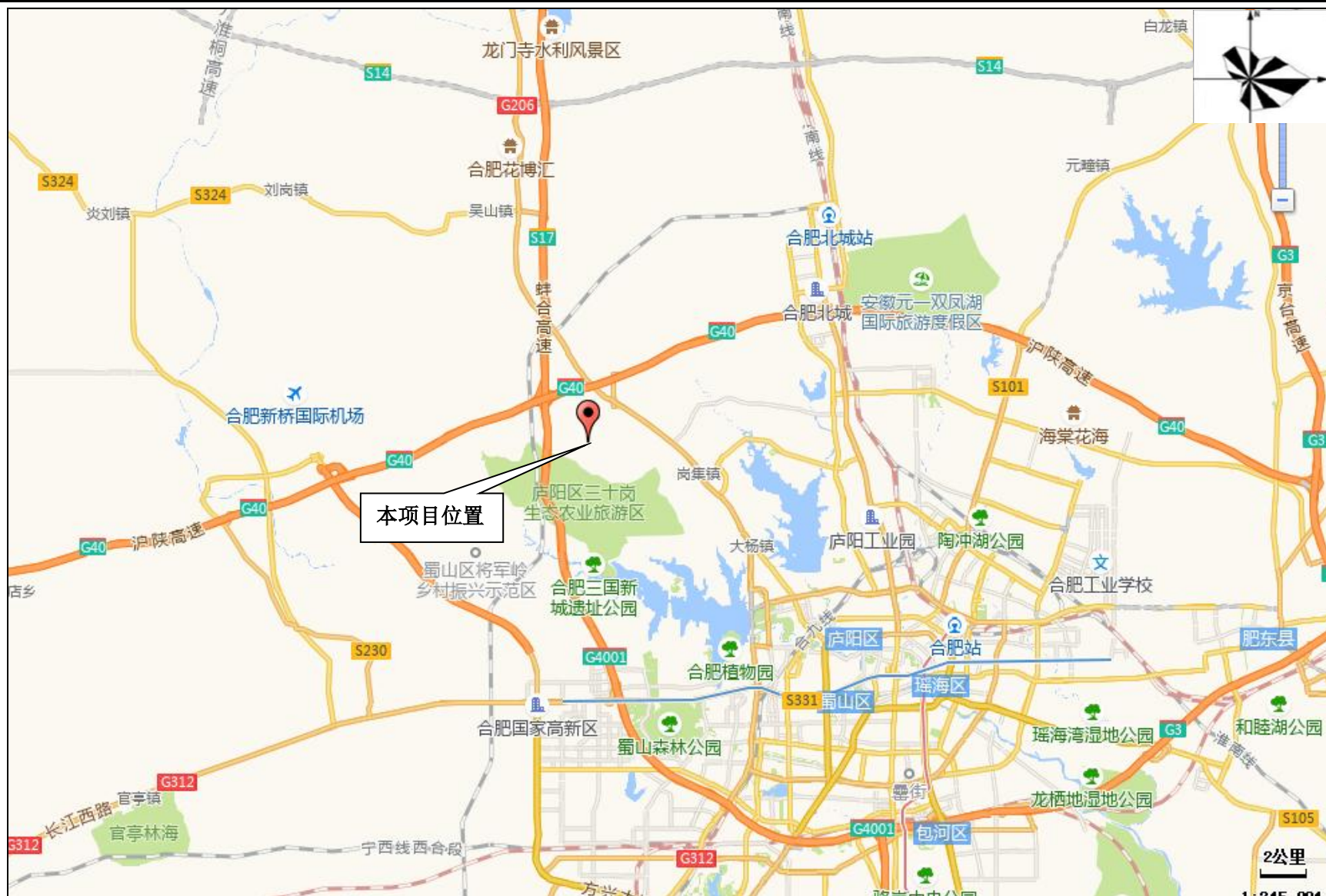


图 1.1-1 建设项目地理位置图

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位

中国科学技术大学（以下简称“中国科大”）是中国科学院所属的一所以前沿科学和高新技术为主、兼有医学和特色文科的综合性全国重点大学。学校现有31个学院（学部），含8个科教融合学院；设有苏州高等研究院、上海研究院、北京研究院、先进技术研究院、国际金融研究院、附属第一医院（安徽省立医院）。

学校于1958年9月在北京创建，郭沫若任首任校长。这是中国共产党亲手创办的红色大学，是为“两弹一星”事业而建立的大学，它的创办被称为“我国教育史和科学史上的一项重大事件”。建校后，中国科学院实施“全院办校、所系结合”的办学方针，高起点、宽口径培养新兴、边缘、交叉学科的尖端科技人才，汇集了严济慈、华罗庚、钱学森、赵忠尧、郭永怀、赵九章、贝时璋等一批著名科学家，建校第二年即被列为全国重点大学。1970年初，学校迁至安徽省合肥市。1978年以来，学校锐意改革、大胆创新，在全国率先提出并实施一系列具有创新精神和前瞻意识的教育改革措施，创办少年班、首建研究生院、建设国家大科学工程、面向世界开放办学等，成为国家高质量人才培养和高水平科学研究的重要基地，是国家首批实施“985工程”和“211工程”的大学之一。2017年9月，学校入选全国首批世界一流大学和世界一流学科建设高校，共有11个学科入选世界一流学科建设名单。建校60多年来，学校坚持红专并进、理实交融的校训，敢为人先，锐意进取，培养了大批德才兼备的优秀人才，取得了一系列举世瞩目的科研成果，为党和国家事业发展作出了重要贡献。

截至2022年8月，共有教学与科研人员2810人，其中教授943人（含

相当专业技术职务人员），副教授1043人（含相当专业技术职务人员）。其中，两院院士等高层次人才不重复统计共计596人，占固定教师总数的40%。同时，45岁及以下青年教师约占教师总数的75%，45岁及以下青年人才占高层次人才的68%。

1.2.2项目背景和意义

超级陶粲装置（Super Tau-Charm Facility，简称“STCF”）是运行在陶粲能区的超高亮度正负电子对撞机装置，是中国科学技术大学正在谋划争取的重大科学基础设施之一。STCF将有望成为国际粒子物理领域独具特色的装置，将为我国的基础科学前沿研究、尖端核心技术研发、高层次创新人才培养等提供重要的综合性研究平台。STCF的建设面临着在宽质心能量覆盖范围、超高亮度、超高事例率及超高本底等严苛条件下进行超高精度测量的极端需求，对相应加速器和探测谱仪的原理、技术和工艺等都提出了重大挑战。我国现有的相关技术已难以满足未来建设STCF的需求，需要从原理、技术、仪器设备等方面开展预先研究和关键技术攻关。

正在规划中的下一代对撞机——超级陶粲装置（STCF），它的超高亮度导致了高流强、小动力学孔径、短束流寿命的特性，这意味着需要采用大电荷量、低发射度、一定重复频率的正负电子束进行Top-up注入到对撞环中，且注入束流对运行亮度的扰动需要被抑制。因此，对注入束流的品质及其精确测量调控技术的要求将大大高于北京正负电子对撞机重大改造工程（BEPCII）的情况，有必要开展相关的关键技术预研。因为现代光阴极电子枪可以提供品质优秀的电子束，而正电子束需要通过电子束打靶产生，这成为STCF注入器中的难点之一。

通过研制高性能光阴极电子源、2998MHz直线加速器的功率源、正

电子靶、俘获磁号、大孔径加速管、注入器束流束测元件等样机，并将它们集成到一个平台装置上，以便进行设备的带束流测试和正负电子束流的品质测量，这将对注入器关键技术攻关的重要支持。同时收集电子束打靶产生正电子的实验数据，校对和优化打靶模型，为未来正电子源的设计和优化打下理论基础。

基于此目标，中国科学技术大学开展超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（以下简称“STCF-BTP”），旨在突破下一代高性能正负电子对撞装置的关键核心技术。2022年4月27日，超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）经校长办公会审议同意立项（详见附件2），**项目预计总投资6280万元。**

本项目地址位于合肥市长丰县岗集镇合肥先进光源配套工程原加速器测试大厅（计划在合肥先进光源配套工程老炼平台退役后实施）。其中合肥先进光源配套工程位于长丰县岗集镇，东至规划支路，西至胡庙路，北侧距科学岛北路约100m，南侧与合肥先进光源基础设施用地相邻。

1.2.3建设规模

本次评价项目依托合肥先进光源配套工程建设的加速器测试大厅，不新建主体建筑物。本项目核技术利用建设内容为在已建的加速器测试大厅使用一台电子直线加速器（最高能量100MeV，属I类射线装置），用于开展超级陶粲装置加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。

表 1.2-1 本项目建设内容一览表

名称	项目内容	备注
主体工程	加速器测试大厅辐射屏蔽机房	依托现有

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

	购置粒子加速器测试装置、高频微波高压脉冲测试平台、高精度稳流电源测试平台、磁铁磁测平台、机械准直测试平台及准直仪器检定测试平台、直线加速器加速管研发平台、精密光学元件测试系统等工艺设备平台设施	新建
公用工程	变配电工程（引自主体工程建设的园区变电所）	依托现有
	特种气体和压缩空气系统	
	给排水管网	
环保工程	放射性废物暂存间	依托现有
	放射性废水贮存衰变池	依托现有
	加速器测试大厅排风设施	依托现有
	辐射监测系统、人身安全联锁系统	改建

本项目电子直线加速器由电子加速器束线、正电子加速器束线构成。其中，电子加速器由光阴极电子枪及配套设备、低能束测段、行波加速管、束测束线、聚焦铁等构成；正电子加速器由正电子转换靶及磁号、大孔径行波加速管、正电子束测段构成。STCF-BTP电子束在电子枪产生，经预聚束器、加速管加速到最高能量100MeV，大电荷量时重复频率为1Hz。主要技术参数详见下表1.2-2。

表 1.2-2 本项目核技术利用建设内容一览表

装置名称	数量	主要技术指标	负电子	正电子	使用场所
电子直线加速器	1 台	最大束流能量	100MeV	100MeV	加速器测试大厅
		最大脉冲电荷量	8nC	5nC ⁻ ; 1.6nC ⁺	
		脉冲宽度（rms）	<5ps	5pse ⁻ ; 60pse ⁺	
		最高重复频率	最大为 50Hz (8nC 时为 0.2Hz)	最大为 50Hz (5nC 时为 1Hz)	

根据《射线装置分类》的规定：“粒子能量大于等于100兆电子伏的非医用加速器”属I类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第16号，2021年）以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第20号，2021年）的规定，本项目环境影响评价文件类别确定为编制环境影响报告书。因此，核工业二七〇研究所受建设单位委托，负责本项目环评工作（委托书见附件1）。

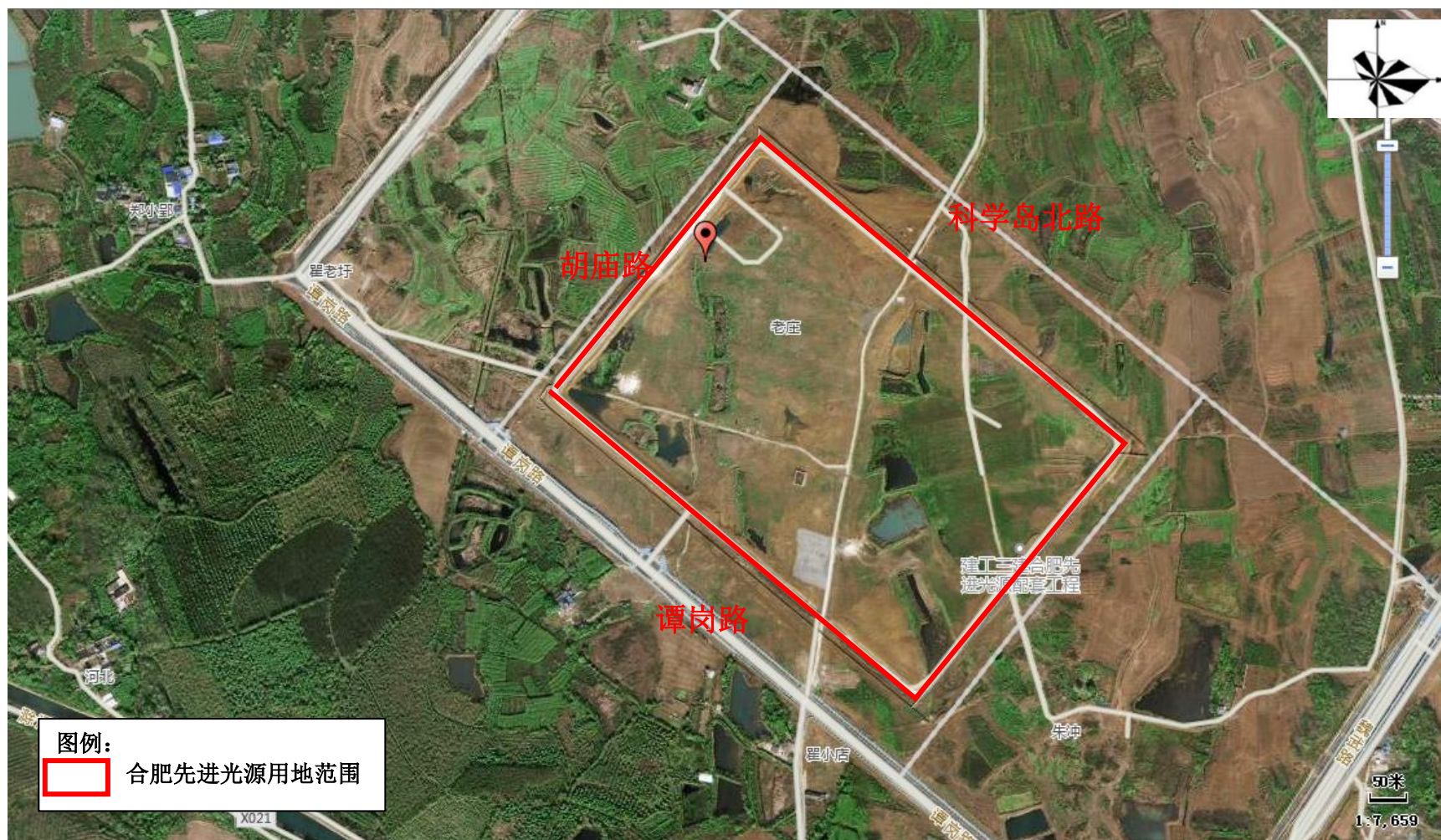


图 1.2-1 合肥先进光源总用地红线周边环境概况图

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

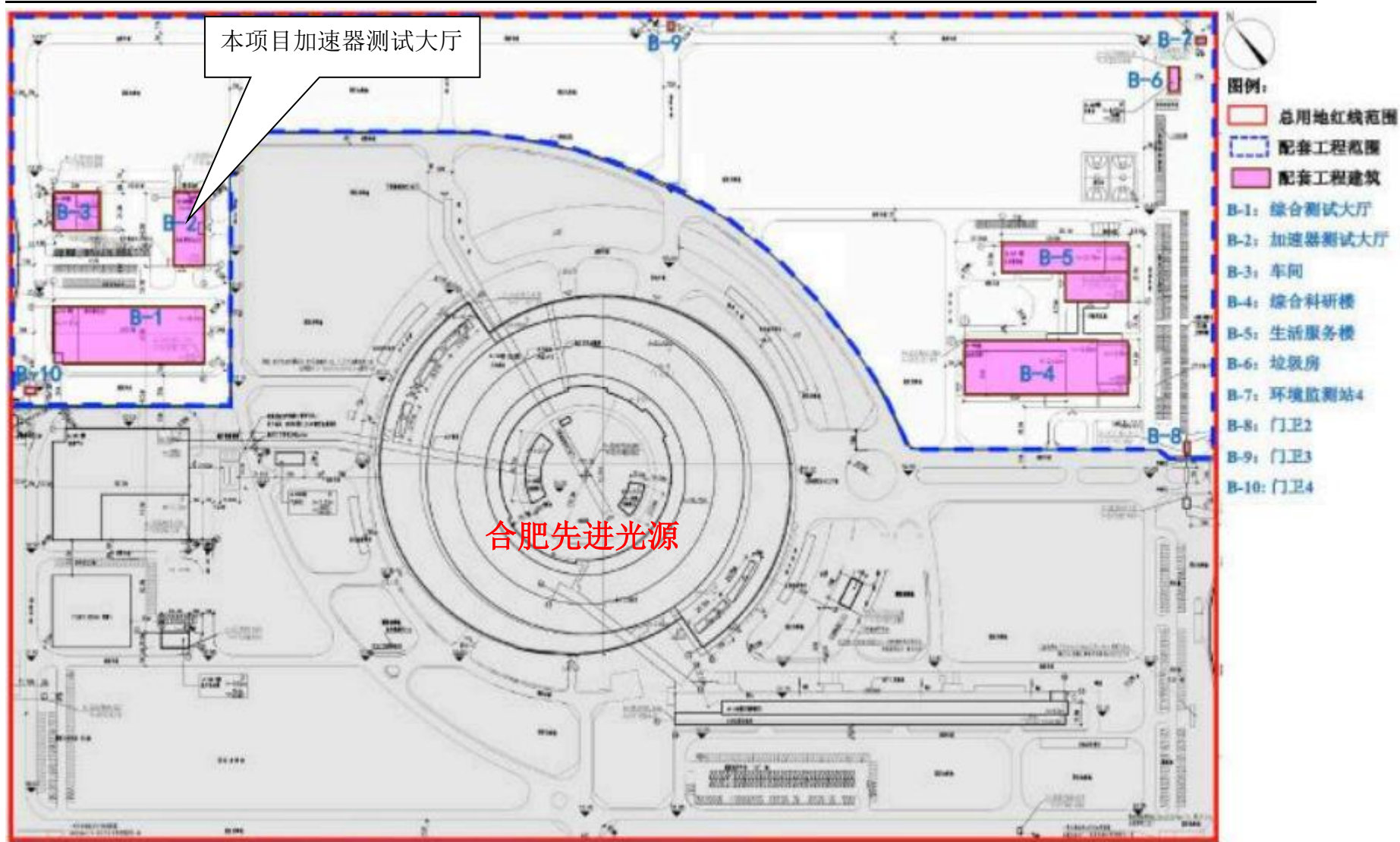


图 1.2-2 本项目在合肥先进光源总平面中的相对位置

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）



图 1.2-3 现场航拍照片

1.2.4 选址符合性分析

① 用地规划符合性分析

根据《长丰县岗集镇总体规划（2016-2030）》（2021年修改），项目所在地主要为科研用地。本项目所在的整个园区已于2022年9月26日获得合肥市自然资源和规划局核发的《建设项目用地预审与选址意见书》（用字第340100202212101号）。意见书指出：本建设项目符合国土空间用途管制要求。项目选址符合经批准的《长丰县岗集镇总体规划（2016—2030年）》（岗政〔2021〕56号）和《长丰县岗集镇谭岗路与胡庙路交口东北角GJ03-C-05街坊控制性详细规划》，不占用永久基本农田，地块用地规模和布局已纳入《长丰县国土空间总体规划（2021—2035年）》。因此，本项目符合规划要求。

② 环境相容性分析、四至关系相容性分析

经现场勘查，合肥先进光源园区周边现状均为空地，规划为科研用地等。周围500m范围内无居民、学校等环境保护目标，因此项目建设与周边环境相容性较好。

③ 本项目对董铺水库、大房郢水库的影响分析

根据合肥市董铺水库、大房郢水库水源保护区划分方案，本项目在董铺水库、大房郢水库一、二级保护区外，属于准保护区范围内，按照《中华人民共和国水污染防治法》第六十七条规定：“禁止在饮用水水源准保护区内新建、扩建对水体污染严重的建设项目；改建建设项目，不得增加排污量”。本项目废水经废水处理站处理后经市政污水管网接入望塘污水处理厂，生活污水经化粪池处理后经市政污水管网接入望塘污水处理厂。望塘污水处理厂服务范围主要包括合肥市黄山路以北、环城西路及亳州路以西的区域以及长丰县岗集镇镇区及工业园区、三十岗、大杨店、蜀山新产业园、城市森林公园、中国科学院合肥物质研究院的建设用地，规划服务面积66km²，属于合肥市污水规划系统中的南淝河系统。因此，本项目不会对董铺水库、大房郢水库产生影响。

1.2.5产业政策相符性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中“鼓励类”中第六条核能中第4项——“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”的范畴，符合国家相关产业政策。

1.2.6与规划符合性分析

①与长丰县岗集镇总体规划符合性分析

根据《长丰县岗集镇总体规划（2010—2030年）》可知，长丰县岗集镇位于安徽省合肥市长丰县西南部，东与本县双墩镇、双凤工业区相邻，北与本县吴山镇接壤，西与肥西县高刘镇相连，南与庐阳区三十岗乡、大杨镇毗邻，镇域总面积161.07平方公里。产业发展定位为：岗集镇老镇区及规划新城区集中发展汽车配件产业和物流业，其余部分建设生态农业、休闲旅游业、特色农业等，禁止化学制浆、造纸等高能耗高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目入区。

本项目不属于化学纸浆、造纸等高能耗高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目，与岗集镇总体规划产业定位不冲突。

②与长丰县岗集镇总体规划环境影响报告书符合性分析

本项目与《关于长丰县岗集镇总体规划（2010-2030）环境影响报告书的审查意见》（环建审〔2013〕176号）的内容符合性分析见表1.2-3。

表 1.2-3 与长丰县岗集镇总体规划环评报告书审查意见的符合性

序号	相关要求	本项目情况	符合性
----	------	-------	-----

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

1	此次总体规划期限为 2010—2030 年,其中近期 2010—2015 年, 远期 2016—2030 年。产业发展定位为: 岗集老镇区及规划新城区集中发展汽车配件产业和物流业, 其余部分建设生态农业、休闲旅游业、现代高效农业、特色农业。	本项目为超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台, 符合国家产业政策, 各污染因子均能做到达标排放, 不属于主导产业和禁止产业。	符合
2	一级保护区内滁河干渠两侧禁止建设一切与供水设施和保护饮用水水源无关的项目; 二级保护区内禁止新、扩、改建有污染的建设项目, 可发展无污染、高效益的生态农业; 老镇区及规划新城区位于饮用水源准保护区内, 可发展不含表面处理工艺的汽车零部件制造业、不含危险品仓储运输的仓储物流业等。规划期内, 不得增加镇域污染物排放总量。	本项目位于饮用水源准保护区内, 项目运行过程中不涉及酸洗、磷化等禁止的表面处理的工艺, 生活污水总量纳入望塘污水处理厂总量控制指标当中, 项目建设不新增镇域废水污染物排放总量。	符合
3	老镇区及规划新区排水应全部实行雨污分流。应尽快建设望塘污水处理厂及污水管网工程。老镇区及规划新城区内工业废水和生活污水预处理达到城镇污水处理厂接管标准后, 通过健全的污水管网进入望塘污水处理厂或卧龙山污水处理厂深度处理, 出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准及主要污染物的提标标准后排放。	岗集镇老镇区及规划新城区目前基础设施已建成运行, 雨污水管网已铺设完毕, 项目产生的生活污水经化粪池处理后, 达到望塘污水处理厂接管要求, 由市政污水管网接入望塘污水处理厂进一步处理后外排。	符合

4	禁止引进化工、造纸等高耗能高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目，禁止引进污染重、清洁生产水平低下的企业，禁止高耗水以及对水体污染严重、废气排放量大的项目进入。同时严控镇域农业面源污染。	根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类，不属于限制类和淘汰类的范畴，符合国家法律法规和政策规定。同时本项目不属于高耗能、高污染项目，项目非放射性废气排放量少，废水接入市政污水管网，对水体污染较小。	符合
5	所有建设项目必须严格执行国家《环评法》规定，履行环评审批手续，杜绝未批先建等环境违法行为。要求引进企业均建立健全环境管理机构，完善环境管理制度，实行清洁生产。限期搬迁或关闭区域内不符合产业定位的污染项目。	本项目为改扩建项目，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中划分要求编制此报告书，不存在未批先建等违法行为。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《长丰县岗集镇总体规划（2010—2030年）环境影响报告书》及其审查意见相关要求。

1.2.7 现有核技术利用情况及辐射安全管理现状

1.2.7.1 核技术利用现状

中国科学技术大学最近一次于 2025 年 8 月向生态环境部重新申领了辐射安全许可证（国环辐证[00308]，有效期至 2029 年 3 月 31 日，见附件 4）。许可的种类和范围为：使用 I 类、II 类、IV 类、V 类放射源；使用 I 类、II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

其中 II 类放射源为 1 枚 Cs-137，IV 类放射源包括 1 枚 Na-22、1 枚

Pu-238、1 枚 Co-60，V 类放射源共 80 枚，包括 Sr-90、Na-22、Fe-55 等放射源；非密封放射性工作场所包括 2 个乙级场所和 1 个丙级场所，使用核素包括 Rh-102、Co-60、Co-57、Ru-106 等放射性核素；I 类射线装置为 800MeV 电子直线加速器、800MeV 电子储存环及多条光束线站组成的合肥光源，II 类射线装置包括 1 台红外自由电子激光装置、1 台电子加速器、1 台 DSA、1 台中子发生器，其余均为 III 类射线装置。此外，合肥先进光源配套工程加速器测试大厅老炼平台（粒子能量 60MeV）已取证，属 II 类射线装置。

综上所述，中国科学技术大学现有核技术利用项目均完成了环境影响评价、辐射安全许可证的重新申领工作，学校在许可的种类和范围内从事放射源、射线装置和非密封放射性物质使用等工作。

1.2.7.2 环评审批和环保验收情况

中国科学技术大学根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，在许可的种类和范围内从事放射源、射线装置和非密封放射性物质使用等工作。严格执行辐射安全管理的各项规章制度，于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交上一年度评估报告，到目前无辐射安全事故发生。

中国科学技术大学近几年履行环保审批和环保竣工验收手续情况见表 1.2-5。

表 1.2-5 中国科学技术大学近几年履行环保审批手续和环保竣工验收手续情况

序号	项目名称	国家计委复函/ 环评批复文号	环保验收时间及文号	备注
----	------	-------------------	-----------	----

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

1	合肥光源一期工程	计科【1983】 470号	1984年开工、1989年4月建成、1991年12月通过国家验收	/
2	合肥光源二期工程	计投资【1999】 416号	1999年建设，2004年12月二期工程通过国家验收	/
3	血管造影机 DSA	皖辐射报告表 (2013) 70号	2018年4月自主验收	/
4	物理开放源室及中子发生器项目	皖辐射报告表 (2013) 70号	2018年9月自主验收	/
5	合肥光源重大维修改造项目	皖环函(2014) 30号	2018年4月自主验收	/
6	基于可调谐红外激光的能量化学研究大型实验装置项目	皖环函(2017) 1039号	2022年阶段性自主验收，2025年完成项目竣工环境保护验收	/
7	中科院先导C科技专项《高精度电磁测量核心技术装备》示范工程西区新建洁净室项目	皖环函(2021) 875号	/	建设中
8	合肥先进光源项目	皖环函(2023) 111号	/	建设中
9	新增非密封放射性物质乙级工作场所项目	皖环函(2023) 169号	/	已许可，暂未验收
10	合肥先进光源配套工程项目	皖环函(2023) 846号	原计划于加速器测试大厅开展预注入器安装及束流调试工作，但在电子枪研发过程中发现，该电子枪若反复进	加速管老炼平台已取证、正在

超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

			行拆装与激活操作，会对其寿命产生影响。为确保在线安装时电子枪性能尽可能接近最大值，120Mev 电子直线加速器将不在加速器测试大厅内进行安装，后期也不再实施，仅保留加速器测试大厅内的加速管老炼平台（老炼的加速管加速电子最大能量为 60MeV）	组织验收
11	新增一台低能自屏蔽电子加速器项目	皖环函〔2024〕185 号	/	建设中
12	合肥光源储存环束流提升及新增线站项目	皖环函〔2024〕790 号	2025 年 7 月完成了自主验收	/
13	太赫兹近场高通量材料物性测试系统	皖环函〔2025〕398 号	/	建设中

合肥先进光源配套工程项目中原计划安装的 120Mev 电子直线加速器将不再实施，仅保留加速器测试大厅内的加速管老炼平台（老炼的加速管加速电子最大能量为 60MeV）。建设单位在向生态环境部提交辐射安全许可证增项申请（加速管老炼平台）时已针对上述变动编制了辐射安全分析报告，并于 2025 年 8 月 29 日取得许可，目前正在组织验收。

本项目不涉及新增用地，不涉及新增主体建筑的建设，拟利用合肥先进光源配套工程项目中的加速器测试大厅作为超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）的核心实验验证平台。待加速管老炼平台完成退役后实施本项目。

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规

- （1）《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日起施行；
- （2）《中华人民共和国环境影响评价法》2016年9月1日起施行；主席令第24号修订，2018年12月29日起施行；
- （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日起施行；
- （4）《中华人民共和国大气污染防治法》2016年1月1日起施行；主席令第16号修订，2018年10月26日起施行；
- （5）《中华人民共和国水污染防治法》2018年1月1日起施行；
- （6）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》2005年4月1日起施行；主席令第43号修订，2020年4月29日起施行；
- （7）《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018年8月31日审议通过，2019年1月1日起施行）；
- （8）《建设项目环境保护管理条例》国务院令第682号，2017年10月1日起施行；
- （9）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第449号，2005年12月1日起施行；国务院令第653号修订，2014年7月29日起施行；国务院令第709号修订，2019年3月2日起施行；
- （10）《放射性废物安全管理条例》国务院令第612号，2012年3月1日起施行；
- （11）《安徽省环境保护条例》，安徽省第十二届人大常委会第四十一次会议审议通过，2018年1月1日施行。

1.3.2 部门规章及规范性文件

- （1）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》生态环

境部令第16号，2021年1月1日起施行；

（2）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部令第20号第四次修订，2021年1月4日施行；

（3）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行；

（4）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号，2017年12月6日起施行；

（5）《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发〔2006〕145号；

（6）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环境保护部，环办辐射函〔2016〕430号；

（7）《关于发布〈注册核安全工程师执业资格关键岗位名录〉（第一批）的通知》国家核安全局，国核安发〔2010〕25号；

（8）《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发〔2015〕40号）；

（9）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》环境保护部、工业和信息化部、国防科工局，公告2017年第65号，2018年1月1日起施行；

（10）《放射工作人员职业健康管理暂行办法》卫生部令第55号，2007年11月1日起施行；

（11）《产业结构调整指导目录（2024年本）》国家发展改革委令第7号，2024年2月1日起施行；

（12）《环境影响评价公众参与办法》生态环境部令第4号，2019年1月1日起施行；

1.3.3 技术规范和标准

- （1）《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）；
- （2）《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；
- （3）《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）；
- （4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- （5）《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025，2026年5月1日起实施）；
- （6）《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- （8）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单；
- （9）《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）；
- （10）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- （11）《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- （12）《污水综合排放标准》（GB8978-1996）。

1.3.4 项目相关文件

- （1）建设项目环境影响评价委托书及建设单位提供的项目相关基础资料；
- （2）中国科大校办公会关于“超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）立项”的会议纪要；
- （3）《合肥先进光源项目环境影响报告书》（编制单位：中国原子能科学研究院，2022年12月）及批复（皖环函〔2023〕111号）；
- （4）《合肥先进光源配套工程项目环境影响报告书》（编制单位：

中国原子能科学研究院，2023年6月）及批复（皖环函〔2023〕846号）；

（5）辐射安全许可证；

（6）2024年度辐射安全年度评估报告；

（7）辐射工作人员台账、辐射安全与防护考核合格证、个人剂量报告、职业健康检查报告；

（8）辐射安全与防护管理机构及管理制度；

（9）生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改情况汇报。

1.3.5参考文献

（1）NCRP Report No.51.《Radiation Protection Design Guidelines For 0.1~100MeV Particle Accelerator Facilities 》；

（2）NCRP Report No.144.《Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities》；

（3）NCRP Report No.151.《Structural Shielding Design and Evaluation For Megavoltage X-and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities》；

（4）IAEA19号报告（Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment）；

（5）Thomas RH, Stevenson GR.Radiological safety aspects of the operation of proton accelerators.Vienna, Austria:International Atomic Energy Agency Technical Report No.283;1988;

（6）Swanson W.P, Thomas R.H.Dosimetry for radiological protection at high energy particle accelerators.In:Kase KR, Bjärngard BE, Attix FH, eds.The dosimetry of ionizing radiation, Volume III .New York, NY:Academic Press;1990:1-161;

（7）《辐射防护手册》第一、三分册，原子能出版社，李德平、潘自强主编；

（8）《辐射防护导论》原子能出版社，方杰主编；

（9）《加速器保健物理》（H.W.帕特森，R.H.托马斯）；

（10）《实用辐射安全手册》原子能出版社，丛慧玲主编；

（11）《2024中国生态环境状况公报》生态环境部，2025年6月发布

（12）《2024年安徽省生态环境状况公报》安徽省生态环境厅，2025年6月发布。

1.4 评价重点

此次评价重点为电子直线加速器的辐射安全与防护措施评价，以及感生放射性的影响，辐射工作人员和公众所受附加剂量评价。

对于非放射性影响评价，本项目不涉及施工期基础结构等的建设，故不进行建设期环境影响评价；本项目拟依托合肥先进光源配套工程已建的加速器测试大厅（待加速管老炼平台退役后实施本项目），不新增噪声源，故本次评价不进行噪声评价及预测。本次评价主要关注的废气（辐射区产生的臭氧、氮氧化物）、废水及固废依托合肥先进光源配套工程设置的通风系统、废水处置措施及固废收储运体系，因此本次评价对上述处置措施依托可行性进行分析评价。

1.5 评价标准

1.5.1 剂量限值和剂量约束值

1.5.1.1 剂量限值

本项目调试运行期间对辐射工作人员和公众中任何个人造成的有效剂量的限值，执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）的规定：“对任何辐射工作人员的职业照射的剂量限值由审管部门决定，连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不超过20mSv，其中任何一年中的有效剂量不超过50mSv；公众照射剂量限值是公众中有关关键人群组的成员所受到的平均个人年有效剂量估计值不超过1mSv”。

1.5.1.2剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025），本次评价以5mSv/a作为职业人员剂量约束值，以0.1mSv/a作为公众剂量约束值。

1.5.1.3辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平

本项目射线装置辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平应按照表1.5-1执行。

表 1.5-1 本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

工作场所	位置		剂量率控制水平
加速器测试大厅	四周屏蔽体、顶板及门外	居留因子 $T > 1/2$	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$
	30cm 等人员可达处	居留因子 $T \leq 1/2$	$\leq 10\mu\text{Sv/h}$
	人员不可达处	$\leq 100\mu\text{Sv/h}$	

1.5.2放射性废水排放

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

- 1) 每月排放的总活度不得超过10ALImin（ALImin是相应于职业照

射的食入和吸入ALI值中的较小者）；

2) 每一次排放的总活度不得超过1ALI_{min}，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

根据后文的工程分析及计算，本项目活化冷却水废水主要放射性核素排放限值详见表1.5-2。

表 1.5-2 活化冷却水主要放射性核素排放限值

核素名称	DL (mSv)	$e_j(\text{Sv/Bq}^{-1})$		ALI(Bq)		ALI _{min} (Bq)	月排放限值 (Bq)	单次排放限值 (Bq)
		吸入	食入	吸入	食入			
H-3	1	1.20E-09	6.40E-11	8.33E+05	1.56E+07	8.33E+05	8.33E+06	8.33E+05
Be-7	1	2.80E-10	1.80E-10	3.57E+06	5.56E+06	3.57E+06	3.57E+07	3.57E+06

注：1、高能中子与冷却水中的氧发生散裂反应，产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性核素，上述放射性核素中， ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 的半衰期很短，合肥光源装置停机后，这些核素将迅速衰变，浓度也会很快降低，因此，冷却水中的感生放射性核素主要考虑半衰期较长的 ^3H 、 ^7Be ；

2、根据 GB18871-2002 中 B1.3.4 款规定，DL 为相应的职业人员或公众的有效剂量的年剂量限值，DL 保守按公众成员取 1mSv； e_j 的取值来自附录 B6、附录 B7（p78、p108，保守取相应表格中各年龄段对应的最大值）， $\text{ALI}=\text{DL}/e_j$ 。

根据《污水综合排放标准》（GB8978-1996），总 α 放射性和总 β 放射性属于第一类污染物，一律在车间或车间处理设施排放口采样，最高允许排放浓度必须达到表 1.5-3 的要求。

表 1.5-3 活化冷却水主要放射性核素排放限值

污染物	最高允许排放浓度
总 α 放射性	1Bq/L
总 β 放射性	10Bq/L

1.5.3放射性固废处置

本项目运行期间产生的活化固体废物的清洁解控参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录A中A2.1的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表A-1所给出的或审管部门所规定的豁免水平”。对于存在一种以上放射性核素的情况，仅当各放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的和小于1时，方可清洁解控。

对于超出清洁解控水平的放射性固废执行《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）。

1.5.4非放射性环境评价标准

根据项目所在区域的大气环境功能区划分，属二类区（即城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区），执行GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级标准，具体详见表1.5-4。

表 1.5-4 环境空气质量标准

项目	取值时间	标准值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准来源
NO ₂	年平均	40	GB3095-2012 及其修改单 中二级标准
	24 小时平均	80	
	1 小时平均	200	
O ₃	日最大 8 小时平均	160	
	1 小时平均	200	

该项目室内（加速器测试大厅内）臭氧、氮氧化物执行《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中

工作场所空气中化学物质容许浓度限值；氮氧化物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表2的排放限值，具体标准值见表1.5-5。

表 1.5-5O₃ 和 NO_x 排放限值和室内浓度限值

大气污染物	排放限值		室内浓度限值	
	最高允许排放浓度，mg/m ³	最高允许排放速率，kg/h	最高容许浓度，mg/m ³	时间加权平均容许浓度，mg/m ³
NO _x	240	0.77*	——	5
O ₃	——	——	0.3	——

*备注：取自 GB16297-1996《大气污染物综合排放标准》表 2 中排气筒高度 15m、二级的数据。

1.6 评价范围和保护目标

1.6.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的相关规定“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽边界外50m的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围），对于Ⅰ类放射源或Ⅰ类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。

本项目电子直线加速器最大能量为100MeV，属Ⅰ类射线装置，其主要的辐射环境影响途径为瞬发辐射外照射以及运行期间排入环境感生放射性气体对人员造成的辐射影响。参照HJ10.1-2016的要求，本项目电离辐射环境影响的评价范围确定为加速器测试大厅屏蔽体向外100m的范围，具体详见图1.6-1。

由3.3.2章节及3.3.3章节的分析可知，该项目产生的感生放射性废气

及臭氧、二氧化氮的饱和浓度均很低，对周围外环境影响很小，根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）的规定，确定该项目大气环境影响评价等级为三级。因此，不设定大气环境影响评价范围。

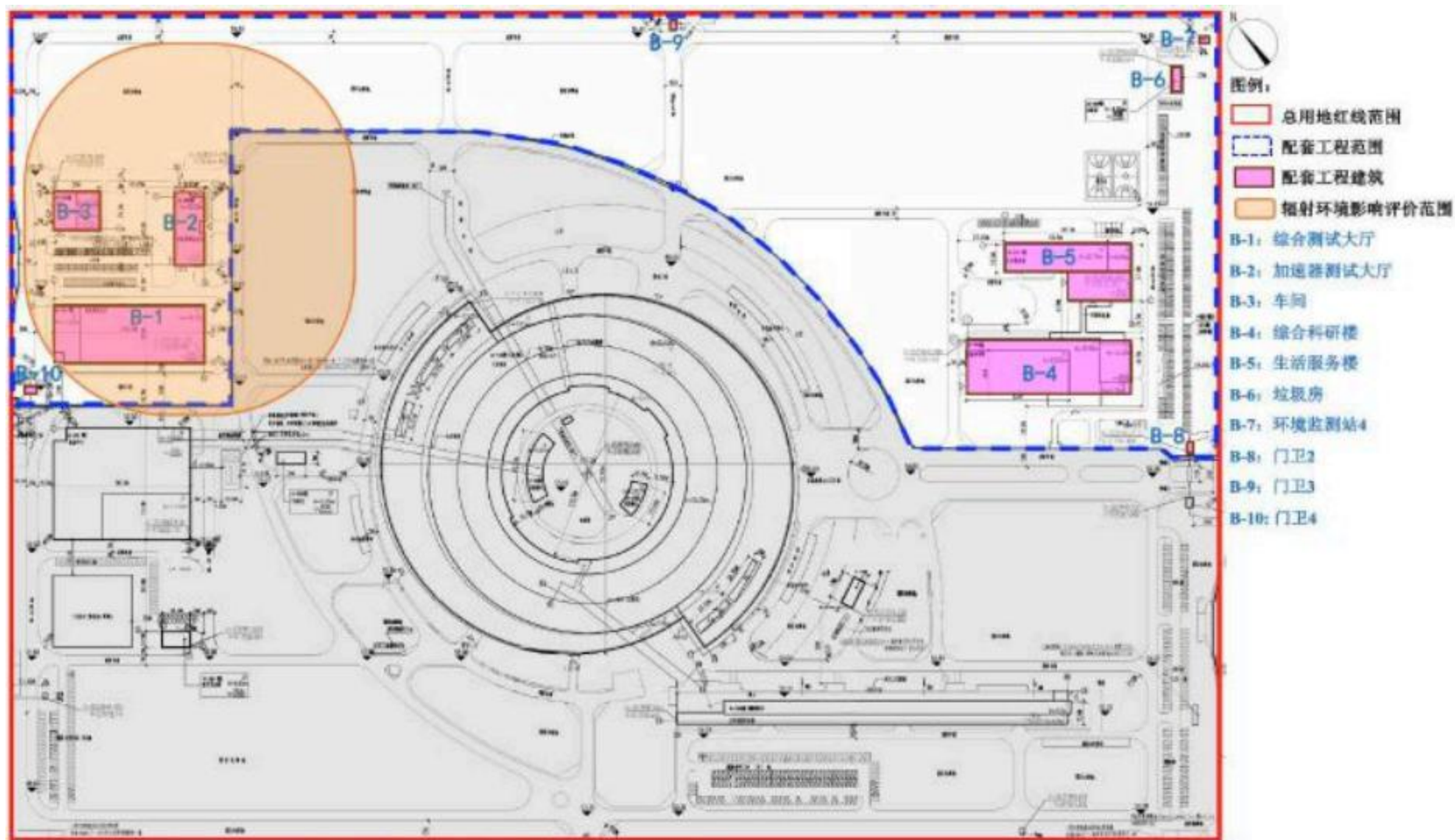


图1.6-1本项目辐射环境影响评价范围图（加速器测试大厅B-2#楼外100m范围）

1.6.2 保护目标

与污染源项相应的环境保护目标和评价因子情况详见表1.6-1。

表1.6-1 项目环境保护目标和评价因子

源项类型	评价因子	保护目标位置	保护目标性质	保护要求
贯穿辐射	中子、X- γ 射线	加速器测试大厅周围	辐射工作人员、公众	辐射工作人员剂量不大于5mSv/a，公众剂量不大于0.1mSv/a
感生放射性	感生放射性气体	加速器测试大厅内	辐射工作人员	防止活化空气泄漏到测试大厅周围工作区
	活化的设备冷却水			贮存衰变，经监测达标后排放
	活化束流管等设备部件			满足 GB11928-1989 要求，妥善处置
非放射性废气	臭氧、氮氧化物	加速器测试大厅内	职业人员	满足 GBZ2.1-2019 和 GB3095-2012 及其修改单中的相关要求

本项目辐射环境影响评价范围均位于合肥先进光源园区内部。保护目标以本项目辐射工作人员、场所周围其他职业人员以及公众为主。

表1.6-2 辐射环境影响评价范围内保护目标分布情况

工作场所	方位	距离/m	保护目标	性质	人数/人
加速器测试大厅	一层	0~10	加速器测试大厅、速调管走廊、激光洁净室、楼梯、门厅、排烟机房、空调机房、电源间、电气间等	辐射工作人员	20
	二层	0~10	控制室、办公室		
	上方	/	屋面	/	/
	下方	/	土壤层	/	/
	B-2#楼东北侧、东南侧	0~100	消防车道、园区内绿地等	公众	10
	B-2#楼西南侧	0~100	B-1#综合测试大厅、消防车道、园区内绿地	公众	100
	B-2#楼西北侧	0~100	B-3#车间、消防车道、园区内绿地、停车位等	公众	100

2 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

合肥市位于安徽省中部，北纬31度52分、东经117度17分。北与淮南市接壤，南与安庆市相连，东与滁州市、马鞍山市、芜湖市毗邻，西与六安市交界。

本项目拟使用合肥先进光源园区内已建的加速器测试大厅。本项目所在的岗集镇处长丰县南部，是合肥北大门，东与双墩镇毗邻，南与庐阳区相连，西与吴山镇和肥西县接壤，北与双墩镇和吴山镇交界，行政区域面积157.6平方千米。

合肥先进光源位于合肥市未来大科学城（长丰县岗集镇），距离新桥机场约17公里，距离中国科学技术大学西区国家同步辐射实验室约24公里，毗邻超导托卡马克、稳态强磁场实验装置、聚变堆主机关键系统等大科学装置。本项目地理位置详见图1.1-1，周围环境概况见图1.1-2。

2.1.2 地形、地貌、地质

合肥地区属于下扬子海槽和淮阳古陆边缘地带。震旦纪前，该地为烟波浩渺的海浸区，吕梁造山运动，产生了淮阳高地与古大别山。白垩纪的燕山运动，江淮间出现褶皱，形成了江淮丘陵。第四纪的喜马拉雅运动，地壳升降、断裂、波折，出现西东走向的江淮分水岭，形成江淮分水格局。

合肥地区断层较为发育，除郯庐（山东省郯城至安徽省庐江）深断裂通过其东部外，境内断层纵横。

岗集镇处于古老的江淮丘陵，地貌岗冲起伏，宏观地形西北高、东南低、呈现较缓的波状平原状态，地面标高一般在12~45米之间，合

肥市区高程大致在 10.4~43.4 米，少许沿河低洼地区在 8.4~10.4 米。项目区域地质情况良好，土壤由耕植土、杂填土层、粉质粘土层、粘土等组成，表层为上更新冲积洪粘土，基岩为白垩纪第三系红砂岩。

区域土地利用类型：区域土地类型主要为科研用地等。

2.1.3 水文

2.1.3.1 地表水

长丰县地处丘陵地带，属淮河流域。项目所在地附近水体为南淝河和巢湖。

南淝河是巢湖一级支流，发源于合肥中部的将军岭，毕子店一带，全长 7 公里，其间有四里河、板桥河、廿里河汇入，在施口处流入巢湖，流域面积 1700 平方公里，上游建有董铺、泗水、大官塘等大、中型水库，由于滁河干渠的切割及董铺水库的蓄水，自董铺水库到施口 27.8km 河段已无主水源，径流来自降水补给和接纳合肥市 90% 的工业废液和生活污水，基本属渠化河道。市区河段水质自上而下污染逐渐加重。

巢湖是我国五大淡水湖泊之一，属长江下游左岸水系，距合肥市约 15 平方公里。巢湖流域面积 13350 平方公里，其中巢湖闸以上 9130 平方公里，多年平均水位为 8.31m，平均水深 3.06m，水位变化幅度平均为 2.5m，水位为 7.5~7.8m 时湖泊水域面积约 760 平方公里。

巢湖沿岸入湖河流有店埠河、南泥河、派河、十五里河、丰乐河、杭埠河、兆河等 33 条水系，主要通过裕溪河与长江进行水交流，因建巢湖闸和裕溪河闸，巢湖由原来的过水性河流性湖泊变成了受人工控制的半封闭、封闭式湖泊，其水域的水基本上不与长江水交流。

2.1.3.2地下水

该区地下水类型属上层滞水（分布在杂、素填土中）和下部轻亚粘土及砂层中的潜水，主要补给来源为大气降水。

一、地下水类型及富水特征

根据地下水的赋存条件、水力性质及地层岩性组合特征，区域的含水岩组可划分为松散岩类孔隙水含水岩组和碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组。

1.第四系松散岩类孔隙水含水岩组

1) 第四系全新统（Q4）冲积孔隙含水岩组：主要分布在河流的河漫滩平原。含水岩组岩性主要为粉细砂、中细砂、含砾中粗砂和砂砾石层。上覆比较稳定的亚粘土层，顶板埋深一般在 8~18m，1~4 层。水位埋深一般在 1~3m，具有承压性，含水层厚度一般 3~7m。含水层粒度从上游到下游、由河床向两侧、自上而下均具有颗粒由粗变细的分选特征。含水砂层孔隙度大，连通性好，导水性强。单井涌水量一般在 100~500m³/d，局部含水砂层厚度大，含水颗粒粗的地方，大于 500m³/d。水化学类型主要为 HCO₃-Ca、HCO₃-Ca·Na 和 HCO₃-Na·Ca 型，矿化度一般小于 1000mg/L。

2) 第四系上更新统（Q3）冲洪积层孔隙裂隙含水岩组：主要分布在河间一级阶地和山间的波状平原。岩性主要为粘性土，含水岩组岩性主要为粘性土中的孔隙、柱状裂隙。上更新统粘性土多不整合在下伏的基岩之上，其厚度变化受古地貌的控制，即下伏基岩埋深大，则厚度相应就大，反之厚度相应较小。本区厚度一般在 20~40m。地下水水位埋深一般 5~7m，季节性变化较大，年变幅一般不小于 5m，干旱季节水位埋藏很深，甚至无水，以潜水或上层滞水的形式存在。单井涌水量一

一般在 $2\sim 10\text{m}^3/\text{d}$ ，仅在局部，有良好的补给和储存条件下，水量可以达到 $30\sim 50\text{m}^3/\text{d}$ 。水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型为主，矿化度一般小于 1000mg/L 。

2.碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组

区域广泛分布由中、新生界一套红色内陆湖相沉积的侏罗系、白垩系、下第三系的砂砾岩、中粗砂岩、粉细砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩等碎屑岩组成的含水岩组，部分岩组在不同程度上含可溶盐和易溶盐成分，如方解石、石膏、芒硝、钙芒硝等，常以柱状、晶族状、团块状、条带状、似层状或以胶结物形式分布，充填于岩层及碎屑物中。地层产状平缓，倾向 $15^\circ\sim 30^\circ$ 。区内被第四系全部覆盖。

区内含水岩组由下第三系定远群(Edn1)和白垩系上统张桥组(K2z)的中细砂岩、中粗砂岩、含砾砂岩组成。其中定远群第一段岩层中富含碳酸盐成分或未泥钙质、钙质胶结，结构较疏松，裂隙发育。在富钙层位中，由于水的交替作用，钙质体经溶蚀形成小溶孔、溶洞，类似碳酸盐岩中的“岩溶”。水的交替作用扩大了岩层中原有的裂隙孔隙，构成蜂窝状的储水空间，张桥组岩层一般松散，无异于第四系松散砂层，其透水性和连通性良好，有利于地下水的运移和富集。上述富钙和松散的粗屑岩层，其补给条件优越，为富水性较强的含水层。水位埋深一般小于 20m ，具有承压性质，在有利的地质构造和补给条件下，可以自流。

二、地下水补径排及动态特征

地下水的补给来源比较复杂：大气降水在山前补给区或其他出露区的直接渗入补给；通过导水断裂引入地表径流或从被切穿的相邻含水层中获得补给；上覆第四系松散层补给以及人为补给等等。径流方式：沿含水层底板由山前补给区向远山方向径流，穿越含水层径流以及沿导水

断裂通道径流等。排泄途径：各种径流排泄和人工开采是其主要排泄途径。

2.1.4气候与气象

合肥市位于江淮之间，属于暖温带向亚热带的过渡带气候型，为亚热带湿润季风气候，季风明显、四季分明、气候温和、雨量适中、春温多变、秋高气爽、梅雨显著、夏雨集中。年平均气温 15.7 摄氏度，降雨量 1019mm，蒸发量 1471mm，日照 2100 多个小时。

2.1.5生物多样性

合肥市属北亚热带季风气候，雨量适中，光照充足。农作物主要有水稻、油菜、花生、小麦、大豆、山芋等。区域环境内无自然状态下的森林，无珍稀或濒危物种，植被以人工植被为主，野生动物稀少，仅有鸟类、蛇类。近郊家禽主要为猪、牛、鸡、鸭、鹅等，天然鱼类资源很少，主要是人工养殖的经济鱼类，为鲢、草、青、鲫等。

2.2 社会环境状况

2.2.1人口分布与经济发展

据长丰县人民政府资料，长丰县岗集镇位于县域最南端，与合肥主城区接壤，是安徽省经济发达镇、安徽省汽车零部件产业集群基地，也是合肥未来大科学城项目所在地。镇域面积 157 平方公里，人口 12 万人（其中户籍人口 6.8 万人），辖 13 个社区和 6 个行政村，耕地面积 8.2 万亩。

镇区距市区 5 公里、新桥机场 15 公里、高铁站 7 公里，合六叶高速、魏武路横贯东西，合淮路、地铁 S1 线纵跨南北。

镇内有 4A 级风景区中国非物质文化遗产园、鹭山湖风景区、乡村振兴岭上示范园青峰岭。区位优势、交通便捷、资源丰富、风景秀丽。

镇内现有规上企业 119 家（其中规上工业企业 72 家、规上服务业企业 9 家），国家高新技术企业 96 家。2024 年完成财政收入 10.59 亿元、规模以上工业产值 89.5 亿元、固定资产投资 51.41 亿元、高新技术企业产值 67.91 亿元。综合实力被评为中部百强镇、全国千强镇。

当前，岗集镇聚力发展科创、汽配、现代物流、文旅四大产业：一是聚焦合肥综合性国家科学中心建设，以中国科大先进光源项目为平台，引优做强科技创新项目，孵育科创小镇；二是依托合肥（岗集）江淮汽车配件产业园，5 年内培育产值破两百亿的汽配特色小镇；三是依托交通运输部第三批多式联运示范工程线下基地，中国南山·合肥岗集综合交通物流港，打造 5G 高端物流产业链集聚区、智慧供应链服务平台和物流特色小镇；四是依托 4A 级旅游景区中国非物质文化遗产园、青峰岭田园综合体，打造“一带一轴四核”岭上乡村振兴示范区和全国特色文旅小镇。

2.2.2 文物古迹及风景名胜

本项目评价范围内无文物古迹及风景名胜等各级各类保护区。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 监测内容

该项目主要辐射污染因子为瞬发辐射和感生放射性，主要的环境影响因素为空气、地表水、地下水和土壤。现状监测对象和监测项目见表 2.3-1。

100MeV 电子直线加速器运行期间的辐射场为中子和 X- γ 辐射混合场，因此贯穿辐射监测内容包括环境地表 γ 辐射剂量率和中子剂量当量率。项目射线装置运行期间，贯穿射线装置底板屏蔽体的次级辐射可能会引起底板周围土壤及地下水的活化。

100MeV 高能电子加速器引起土壤和水活化的核素种类中，部分核素半衰期较短，部分核素受检测方法限制，难以测量。因此参考同类型项目，本次辐射环境现状调查中，对项目所在地空气中 ^3H 、气溶胶中 ^7Be 、 ^{22}Na 、土壤中 ^7Be 、 ^{22}Na 及地表水、地下水中 ^3H 、 ^7Be 、 ^{22}Na 核素的活度浓度进行了分析。此外，考虑到总 α 、总 β 能够反映某区域的总放射性水平，因此本次现状调查对地表水、地下水中总 α 、总 β 的活度浓度也进行了分析。

表2.3-1（a）监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目
1	空气	氢-3
2	气溶胶	铍-7、钠-22
3	土壤	铍-7、钠-22
4	地表水	总 α 、总 β 、氢-3、铍-7、钠-22
5	地下水	总 α 、总 β 、氢-3、铍-7、钠-22
6	贯穿辐射	γ 辐射剂量率
		中子剂量当量率

2.3.2监测（分析）依据和监测设备

为了解掌握该项目所在区域的环境质量现状，中核化学计量检测中心于 2025 年 8 月 4 日至 5 日对本项目建场址周围进行了空气、土壤、地表水、地下水中核素的活度浓度进行了采样监测。

表2.3-2(a) 监测仪器设备及性能指标

仪器名称	仪器型号	主要技术指标
低本底 α/β 测量仪	LB6008(YQ-HJ-0135)	探测效率： α 源： $^{241}\text{Am} \geq 65\%(2\pi)$ β 源： ^{90}Sr - $^{90}\text{Y} \geq 65\%(2\pi)$ 检定/校准有效期：2025.06.16~2027.06.15

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

高纯锗γ能谱仪	GMX50P4-83(YQ-HJ-0133)	能量范围：40keV-2MeV 检定/校准有效期：2025.01.10~2027.01.09
超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1220(YQ-HJ-0103)	测量范围：≥2.0Bq/L 探测效率：53.2% 检定/校准有效期：2025.01.10~2027.01.09

表2.3-2（b）监测方法和布点原则

序号	监测对象	监测方法	标准依据
1	土壤	在合肥先进光源院区四周围采用梅花形布点采样法，共采取了4个土壤样。土壤样送实验室预处理后，采用高纯锗γ谱仪测量γ核素活度浓度	《环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法》（GB/T16145-2022）
2	水样	取合肥先进光源附近地表水（滁河干渠）及地下水（周边居民自用水井）采集水样各1个，水样状态：澄清透明；送实验室预处理后采用低本底α、β测量仪测量总α、总β活度浓度，采用高纯锗γ谱仪和液闪谱仪测量γ核素的活度浓度	《环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法》（GB/T16145-2022）、《水中氚的分析方法》（HJ1126-2020）、《水质总β放射性的测定厚源法》（HJ899-2017）、《水质总α放射性的测定厚源法》（HJ898-2017）
3	大气	在合肥先进光源院区指挥部门口设1个采样点，空气样送实验室预处理后采用高纯锗γ谱仪测量γ核素活度浓度	《水中氚的分析方法》（HJ1126-2020）（空气水分中氚）、《环境空气气溶胶中γ放射性核素的测定滤膜压片γ能谱法》（HJ1149-2020）

2025年7月1日核工业二七〇研究所对项目周围中子剂量当量率进

行了现状监测；2025年8月4日，安徽祥安环保有限公司对项目周围环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率进行了现状监测。

此次监测使用的仪器设备详见表2.3-3。监测、分析时监测仪器设备均处于检定（校准）有效期内，各项指标均满足国家标准且能满足该项目的监测需求。

2.3-3（a）监测仪器设备及性能指标

仪器名称	仪器型号	主要技术指标
中子剂量当量仪	主机：FH40G 探头：FHT762 (030981+10623)	测量范围：0.01 μ Sv/h~100mSv/h 能量响应：0.025eV~5GeV 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLjs2025-01657 有效期：2025.6.10~2026.6.9
环境监测用X、 γ 辐射空气比释动能率仪	RTM-2100EX (44000014)	能量响应：48keV~3MeV 测量范围：10nGy~200 μ Gy/h 校准单位：安徽省放射计量站 证书编号：2025J0702 校准日期：2025.7.10

表2.3-3（b）监测方法和布点原则

监测对象	监测方法	标准依据
贯穿辐射	在项目场址周围布设贯穿辐射剂量率监测点位，共计8个监测点位。采用便携式检测仪表，以定点测量方式进行。每个监测点位测量10次，监测结果取平均值	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）

2.3.3 质量保证措施

（1）监测单位取得了《检验检测机构资质认定证书》（中核安徽计量检测有限公司，证书编号161200140346；核工业二七〇研究所证书编号171421180789；安徽祥安环保有限公司，证书编号241212051319），现场监测时间在其证书有效期内。监测项目均在《检验检测机构资质认定证书附表》里批准的检验检测能力范围内。

（2）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。

（3）针对各类样品的采集，监测单位制定了操作规程，要求参加采样人员在实施采样前充分了解，并在采样过程中严格执行。

（4）采样器符合国家技术标准的规定，使用前须检验并确认其性能良好后方可采样，保证采样器和样品容器的清洁，防止交叉污染。

（5）采样后按规定方法进行暂存或预处理，并尽快送往实验室，做好样品交接工作。

（6）监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

（7）监测仪器定期由资质机构检定或校准，合格后方可使用，且在检定有效期内。

（8）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

（9）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

（10）监测报告严格实行三级审核制度。

2.3.4 监测结果

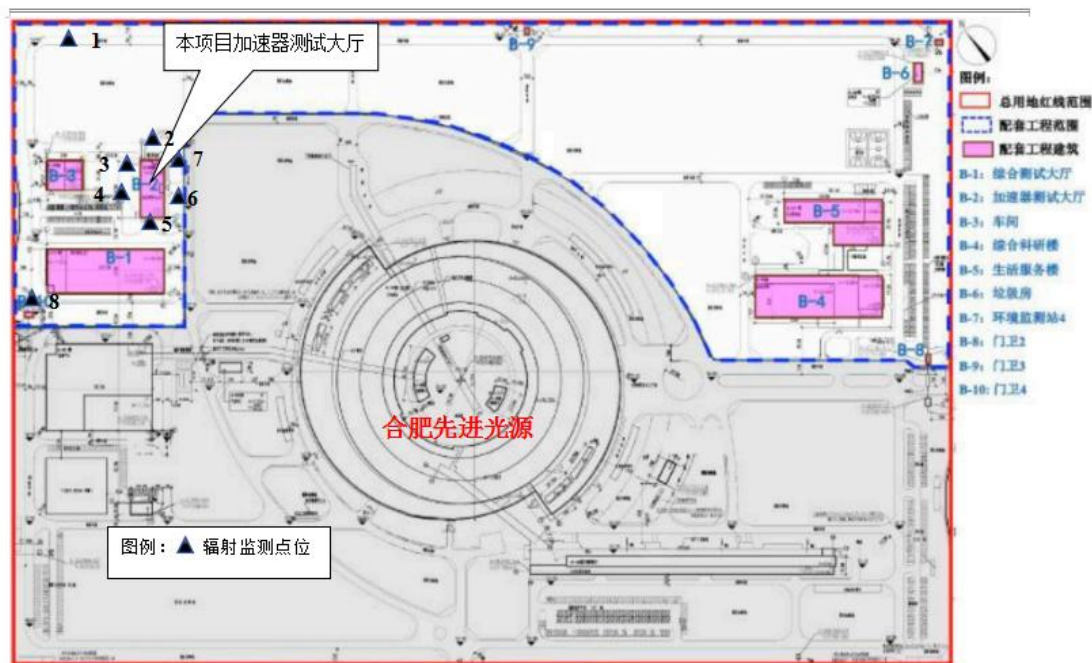
2.3.4.1 贯穿辐射

项目场址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果见表2.3-4。

表 2.3-4 项目场址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果

序号	监测位置描述	环境地表 γ 辐射剂量率（nSv/h）	中子周围剂量当量率（nSv/h）
1	合肥先进光源配套工程北侧厂界处	85 $\pm$ 2	$\leq$ LLD
2	加速器测试大厅北侧	92 $\pm$ 2	$\leq$ LLD
3	加速器测试大厅西侧点位 1	88 $\pm$ 3	$\leq$ LLD
4	加速器测试大厅西侧点位 2	87 $\pm$ 2	$\leq$ LLD
5	加速器测试大厅南侧	83 $\pm$ 3	$\leq$ LLD
6	加速器测试大厅东侧点位 1	86 $\pm$ 3	$\leq$ LLD
7	加速器测试大厅东侧点位 2	86 $\pm$ 2	$\leq$ LLD
8	合肥先进光源配套工程西侧厂界处	79 $\pm$ 2	$\leq$ LLD

注：1、监测结果未扣除宇宙射线响应值；2、检测工况：合肥先进光源及配套工程均未运行；3、中子周围剂量当量仪的探测下限 LLDn：10nSv/h。



由监测结果可知，本项目场址及周围环境地表 γ 辐射剂量率（含宇宙射线贡献值）为99~92nGy/h。该项目场址及周围环境地表 γ 辐射剂量

率水平与2024年安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果基本相当（平均值为100.7nGy/h，范围为66~155nGy/h）。

本项目场址及周围环境中的中子辐射剂量率均低于仪器检出限。

2.3.4.2 大气环境

项目场址及周围环境空气中氡活度浓度监测结果见表 2.3-5。

表 2.3-5 项目场址及周围环境空气监测结果

序号	环境介质	监测位置描述	监测项目	活度浓度 (mBq/m ³)
1	空气	合肥先进光源工程指挥部 门口	氢-3	<1.81*
2	气溶胶	合肥先进光源工程指挥部 门口	铍-7	2.66±0.23
			钠-22	<0.109*

注：*—测量结果为放射性核素探测下限。

由监测结果可知，合肥先进光源园区周围环境空气中氢-3的活度浓度低于检出限；气溶胶中铍-7的活度浓度为2.66mBq/m³，钠-22的活度浓度低于检出限。

2.3.4.3 土壤

项目场址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果见表2.3-6。

表 2.3-6 项目场址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	铍-7 (Bq/kg)	钠-22 (Bq/kg)
1	合肥先进光源园区厂界北侧	9.08±0.80	<0.666*
2	合肥先进光源园区场界南侧	9.37±0.80	<0.666*
3	合肥先进光源园区场界西侧	6.33±0.56	<0.666*
4	合肥先进光源园区场界东侧	4.55±0.40	<0.666*
5	合肥先进光源园区场界东侧	4.08±0.36	<0.666*

合肥先进光源园区厂界东侧土壤中 放射性核素结果均值	4.32	<0.666*
------------------------------	------	---------

注：*—测量结果为放射性核素探测下限。

由监测结果可知，项目场址周围土壤中放射性核素铍-7活度浓度在4.08～9.37Bq/kg、钠-22活度浓度低于仪器探测限。

2.3.4.4水样

项目场址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果见表2.3-7。

表 2.3-7 项目场址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	滁河干渠	总 α （Bq/L）	0.0921
		总 β （Bq/L）	0.134
		氢-3（Bq/L）	<1.36*
		铍-7（mBq/L）	<2.11*
		钠-22（mBq/L）	<0.336*
2	周边居民自用水井	总 α （Bq/L）	0.0777
		总 β （Bq/L）	0.0587
		氢-3（Bq/L）	<1.36*
		铍-7（mBq/L）	<2.11*
		钠-22（mBq/L）	<0.336*

注：*—测量结果为放射性核素探测下限。

由监测结果可知，项目场址周围地表水中总 α 活度浓度0.0921Bq/L，总 β 活度浓度0.134Bq/L，放射性核素氢-3、铍-7、钠-22活度浓度均低于相应的探测限。地下水（周边居民自用水井）中总 α 活度浓度0.0777Bq/L，总 β 活度浓度0.0587Bq/L，放射性核素氢-3、铍-7、钠-22活度浓度均低于相应的探测限。

对照《2024安徽省生态环境状况公报》，2024年全省境内长江、淮

河和巢湖流域地表水体中的总 α 放射性水平小于0.08Bq/L，总 β 放射性水平小于0.3Bq/L。说明该项目周围地表水中的总 α 、总 β 活度浓度处于正常范围。

2.3.5 小结

对本项目场址及周围环境辐射环境质量现状的调查结果表明，本项目场址及周围环境的辐射环境现状水平未见异常。

2.4 场址适宜性评价

本项目所在区域地质条件良好，没有影响射线装置安全稳定运行的颠覆性因素。结合本项目特征辐射污染因子和电离辐射环境影响评价范围，区域周边社会环境相对简单，条件较好。

环境质量和辐射现状调查结果表明，本项目场址及周围辐射环境质量良好，环境电离辐射水平均处于当地天然本底波动范围内。

综上所述，本项目场址适宜性良好。

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 原有项目概况

合肥先进光源园区占地面积约657亩（含主体光源基础设施及配套工程），其中主体光源项目占地约433.59亩，总建筑面积约6.8万平方米；配套工程项目占地约223亩，总建筑面积约3.1万平方米。总体布局以主体建筑为中心，其余建筑围绕主体建筑四周布置；配套工程位于园区内西北侧及东北侧，主要布置3栋工艺实验用房（即B-1#综合测试大厅、B-2#加速器测试大厅、B-3#车间）及综合科研楼和生活服务楼，其他地块为预留发展用地。

2023年2月1日，《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅批复（皖环函〔2023〕111号），项目建设规模为：拟建主体建筑包括注入器（包含直线加速器及输运线）、储存环、实验部（线站大厅）、能源中心、技术安全楼、环境监测站和其他运行辅助设施。装置主体包括一台2.2GeV注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台2.2GeV电子储存环和12条光束线站。

2023年8月8日，《合肥先进光源配套工程项目环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅批复（皖环函〔2023〕846号），建设内容主要为2层综合测试大厅、2层加速器测试大厅、2层车间、5层综合科研楼、5层生活服务楼各1栋和10kV/0.4V 变配电工程、直线加速器加速管研发平台等工艺设备平台及其他配套工程。其中核技术利用建设内容为在加速器测试大厅建造一台电子直线加速器（最高能量120MeV，最大束流强度16 nA、最大脉冲电荷量1.6 nC、重复频率10Hz，属I类射线装置），

用于合肥先进光源预注入器及关键设备调试。

合肥先进光源配套工程与主装置同步实施。项目承建单位为合肥未来大科学城建设投资有限公司，建成后由中国科学技术大学使用。

目前合肥先进光源主体正在建设中，尚未投入运行。本项目涉及的B-2#加速器测试大厅位于园区西北侧，主体建筑已建成。

B-2#加速器测试大厅共两层，一层建筑面积905m²，主要为加速器装置测试大厅、速调管走廊、激光洁净室、电气间、电源间、空调机房、排烟机房、门厅等；二层建筑面积95m²，主要有控制室、办公室等。加速器测试大厅图纸详见1.6-2~1.6-4。

合肥先进光源配套工程项目已批复的核技术应用内容详见下表3.1-1所示。

表 3.1-1 合肥先进光源配套工程已批复的核技术应用内容

装置名称	数量	主要技术指标	使用场所
电子直线加速器	1 台	电子最大能量 120MeV、平均束流强度 16nA、最大脉冲电荷量 1.6nC、重复频率 10Hz	B-2#加速器测试大厅

但原计划的120Mev电子直线加速器将不再实施，仅保留加速器测试大厅内的加速管老炼平台（老炼的加速管加速电子最大能量为60MeV）。目前，加速管老炼平台已取证，正在组织验收。

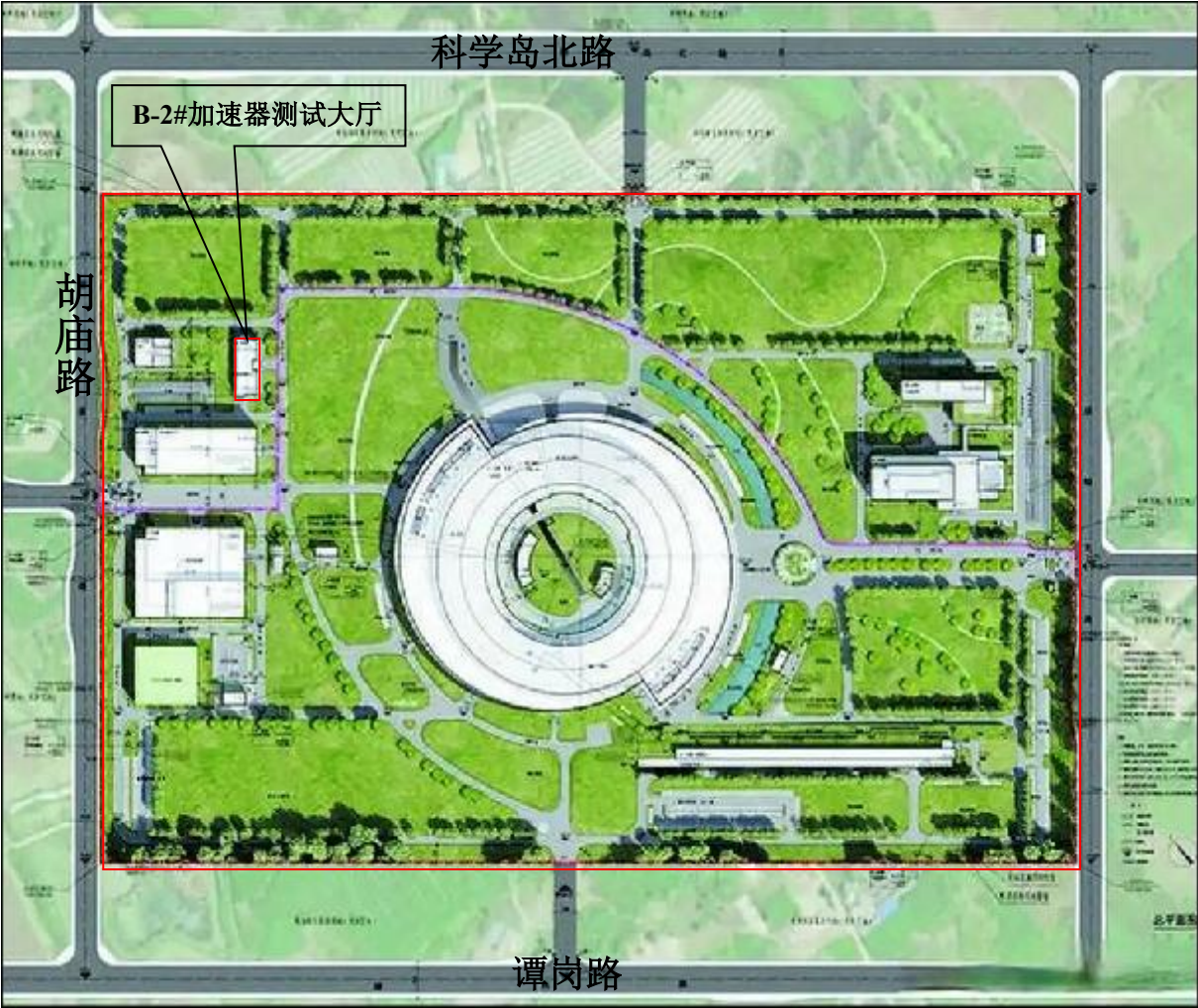


图3.1-1合肥先进光源总体布局图

3.1.2 本次评价内容

本次评价项目拟依托合肥先进光源配套工程已建的加速器装置测试大厅，不改变现有的建筑结构及屏蔽措施，使用一台电子直线加速器（最高能量100MeV，属I类射线装置），用于开展超级陶粲装置加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。

表 3.1-2 本项目核技术利用建设内容一览表

装置	数量	主要技术指标	负电子	正电子	使用场所
----	----	--------	-----	-----	------

名称					
电子 直线 加速 器	1 台	最大束流能量	100MeV	100MeV	合肥先进
		最大脉冲电荷量	8nC	5nC e-;1.6nC e+	光源配套
		脉冲宽度（rms）	<5ps	5ps e-;60ps e+	工程加速
		最高重复频率*	最大为 50Hz (8nC 时为 0.2Hz)	最大为 50Hz (5nC 时为 1Hz)	器测试大 厅

*注：功率源具备 50Hz 能力，但出束工况下并未达到 50Hz，该指标是为了验证调制器。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 射线装置组成及工作原理

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）包含 100MeV 电子加速器束线和 100MeV 正电子加速器束线。

装置整体设备组成包括：加速器束线、水冷管系统、波导真空管系统、微波功率源、磁铁电源、真空泵电源、磁号电源等硬件系统，以及门机联锁系统、辐射剂量监测联锁等辐射安全联锁系统。

电子加速器由光阴极电子枪及配套设备、低能束测段、行波加速管、束测束线、聚焦铁等构成，正电子加速器由正电子转换靶及磁号、大孔径行波加速管、正电子束测段构成。

产生初始大电荷量电子的电子源系统包括 S 波段（2998 MHz）光阴极微波电子枪、Cs₂Te 半导体光阴极交换与转运、激光时空整形、激光—微波定时同步等。在电子枪方面，验证 Cs₂Te 半导体阴极在 S 波段光阴极微波电子枪中产生不低于 5nC 大电荷量电子束的可行性。

加速电子的加速管为常规高梯度加速管设计，两根 2.6m 长加速管，运行梯度大于 25MV/m，用一套 45MW 速调管以及一套脉冲压缩器驱动；

正电子捕获加速用的加速管，采用恒定孔径大孔径加速管设计方案，长度分别为2.2m、2.2m、3.2m，分别由两支速调管驱动。两种加速管将采用不同的工艺方案，达到不同验证目的。

磁铁及电源设计均为常规设计办法，其中正电子捕获加速管外部的螺线管，将选择尽可能低的内径，以降低对供电系统负荷；磁号电源为一种脉冲电源，产生15kA脉冲电流。

装置工作原理：驱动激光聚焦照射于Cs₂Te光阴极表面，通过光电效应产生大电荷量的电子束团。该电子束团经两根行波加速管进行梯度加速后，能量提升至100MeV，经传输段后，轰击钨靶材料，通过韧致辐射效应产生正电子。新产生的正电子由磁聚焦系统与三根大孔径加速管协同作用实现捕获与二次加速，使其能量同样达到100MeV。最终，经能量分析系统筛选的正电子束流轰击至法拉第杯对正电子束进行诊断检测。此外，平台还包含一条用于束流诊断技术的测试线，利用dogleg对束团纵向相空间进行操控，并在后续的束线中完成束流诊断测试。

装置物理线示意图见图3.2-1。装置在加速器测试大厅内整体布局见图3.2-2，束流方向从北向南。

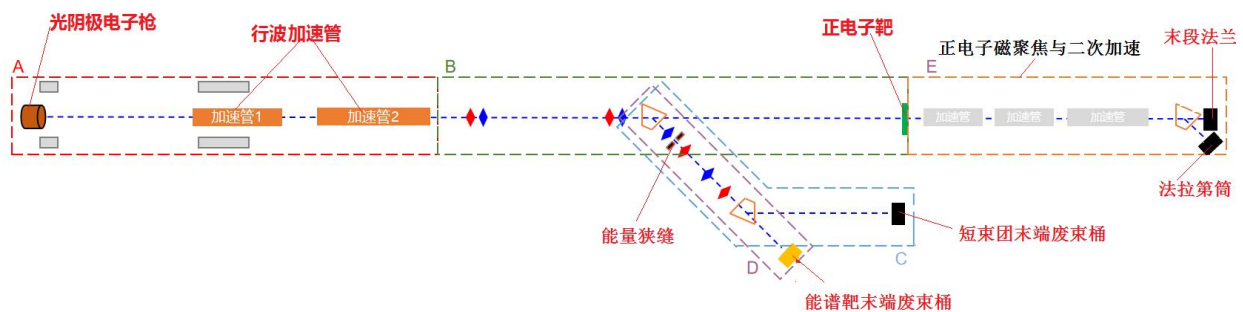


图 3.2-1 STCF-BTP 物理线示意图

3.2.2 工艺分析

在完成加速器束线设备安装后，需开展一系列严格的调试工作，包

括辐射防护联锁调试、速调管功率源调试、真空系统调试、磁铁电源调试、磁号脉冲电源调试、磁号电源联调、微波低电平系统调试、束测系统调试、加速管高功率老练，确保设备安全稳定运行和束流性能达标。

装置调试、运行操作流程如下：

（1）装置运行人员必须具有“放射工作人员上岗证”，经过专业的射线装置运行操作培训，能够正确地操作射线装置；

（2）装置运行人员上岗时必须正确佩戴个人辐射剂量监测计（牌）；

（3）依次检查动力配电系统、冷却水系统、门禁系统、剂量监测系统、控制系统、真空系统、电子枪系统、磁铁电源系统、微波系统、调制器系统、束测系统的状态是否正常，有无报警信息；检查束测系统的束流截面探测器、真空阀门等拦阻性测量设备是否处于初始位置；检查控制系统是否正确监测到各个系统的状态及参数，控制软联锁保护系统状态是否正常；

（4）进入加速器测试区，检查加速器测试区内是否有人，完成加速器测试区内巡查巡视；关闭加速器测试区辐射防护门，建立门禁联锁保护；

（5）在控制程序中调用装置参数设置文件，完成装置各系统的参数初始化设置，并检查各个系统的工作状态是否正常、设置值与回读数值是否一致；

（6）根据本班次运行任务，选择适合的运行模式，设置加速器参数：宏脉冲重复频率、激光能量、正电子靶位置、微波功率相位、幅度等，如下表所示：

表 3.2-1 STCF-BTP 运行模式及参数设置要求

模	任务目的		参数设置限制
---	------	--	--------

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

式		电子束线束流 能量（MeV）	正电子束线增 能（MeV）	正电 子靶 状态	光阴极发射 电荷量（nC）	宏脉冲重 频（Hz）
1	电子束参 数调试	100	0	在轴	5	0.2
2	正电子束 线加速结 构功能测 试	50	50	离轴	0.5	0.2
3	电子束压 缩束线调 试	30	0	在轴	5	20
4	正电子打 靶调试	100	100	在轴	3	1

（7）根据不同模式设置不同的参数：

1) 模式 1，调试电子加速器参数：正电子加速器不工作，电子最终打在能谱靶后面的垃圾箱内，因此首先要在低电荷量（如 0.1nC）状态下调试电子束，使电子束能量达到 100MeV 并通过偏转铁，到达能谱靶，随后逐步增加电荷量，并测试电子束参数使其达到验收要求。

2) 模式 2，调试正电子束线加速管，测试其有效加速能力：将靶挪到轴线以外，电子加速器束流能量调到 50MeV，调节正电子束线加速管的功率及相位，使正电子束线末端能量达到 100MeV（增能 50MeV），并使电子束偏转，打在能谱靶上。

3) 模式 3，电子束压缩束线调试：首先将电子束能量调至 30MeV，改变 dogleg 上磁铁参数，使电子束束团长度从 5ps（rms）压缩至 0.5ps（rms），最终在末端垃圾箱处丢失。

4) 模式 4，正电子束线调试：首先将电子束能量调至 100MeV 电子束，并使其轰击正电子靶，产生正电子束经过捕获加速后，

能量加速至 100MeV，经偏转后在能谱靶上成像，通过法拉第筒测量正电子电荷量。

（8）开启时序系统中电子枪的触发信号，产生电子束流；

（9）根据不同的模式，进行电子束的调试；

（10）运行人员在控制室密切关注电子束流强度；定期检查各个系统的工作状态，特别关注辐射监督区中中子/伽马剂量监测仪器的监测数据；

（11）出现系统联锁保护时，检查联锁保护原因，进行复位操作或者联系相关人员检查检修；

（12）实验完毕，依次停止电子腔时序，设置电子腔高压电源、微波功率源、调制器于“零”待机状态，并关闭真空阀门；

（13）装置运行期间，做好值班记录，记录内容包括：巡查工作内容及结果；检查工作内容及结果；装置操作工作内容及结果。

根据上述运行操作流程及装置工艺原理可知，在电子与正电子的加速及传输过程中，由于束流与真空管道或设备部件发生碰撞导致能量损失，会激发韧致辐射效应，进而产生 X 射线等电离辐射。此类辐射具有穿透性，若防护不当可能对人体组织及设备造成损伤，需在工艺环节中采取严格的屏蔽与监测措施。

3.2.3 产污环节分析

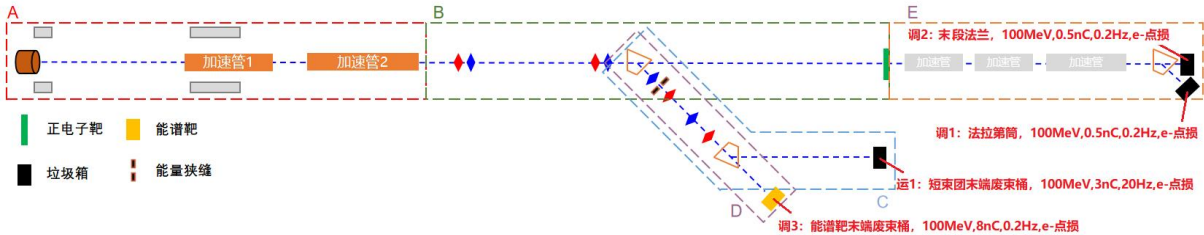
本项目不新建加速器机房，不涉及土建工程施工期的污染影响。

本项目电子直线加速器为自研设备，加速器工艺研发设计确定后，委外进行零部件加工或通过市场直接采购，零部件到货后，项目单位组织专业技术人员进行设备安装、调试。

在调试、运行过程中，STCF-BTP 电子束在电子枪产生，经预聚束器、加速管加速到最高能量 100MeV，大电荷量时重复频率为 1Hz。根据前述工艺流程，本项目具体辐射源项情况如表 3.2-2 所示，各束流损失点的具体位置如图 3.2-2 所示。

表 3.2-2 STCF-BTP 项目电子直线加速器束流损失参数表

序号	运行模式	束损点位置描述	束流损失参数
1	调试模式 1	丢束于正电子线末端偏转段法拉第筒	100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ 点损
2	调试模式 2	丢束于正电子线末端法兰处	100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ 点损
3	调试模式 3	丢束于能谱靶束线末端废束桶处 D 处	100MeV，8nC，0.2Hz，e ⁻ 点损
4	运行模式 1	丢束于短束团束线末端废束桶处 C 处	100MeV，3nC，20Hz，e ⁻ 点损，钛窗距离废束桶 1.5m
5	运行模式 2	正电子段钨靶	100MeV，e ⁻ ，1.8nC，点损
		正电子段磁号	100MeV，e ⁺ ，1.2nC，线损
		正电子段磁号	100MeV，e ⁻ ，1.2nC，线损
		正电子段加速管	100MeV，e ⁻ ，3.16nC，线损
		正电子段加速管	100MeV，e ⁺ ，0.218nC，线损
		正电子段末端法拉第筒	100MeV，e ⁺ ，0.18nC，点损
		正电子段偏转段法兰	100MeV，e ⁻ ，0.44nC，点损



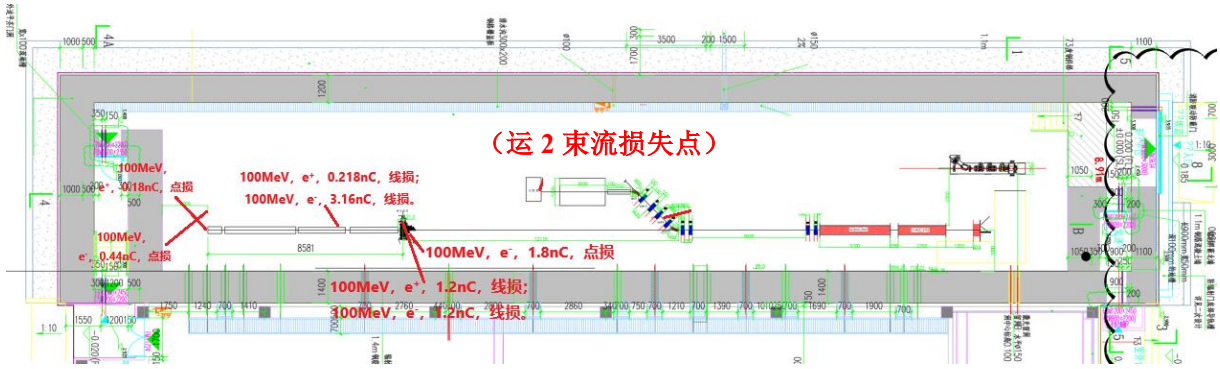


图 3.2-3 STCF-BTP 项目装置束流损失点位示意图

STCF-BTP项目产污环节如图3.2-3所示。

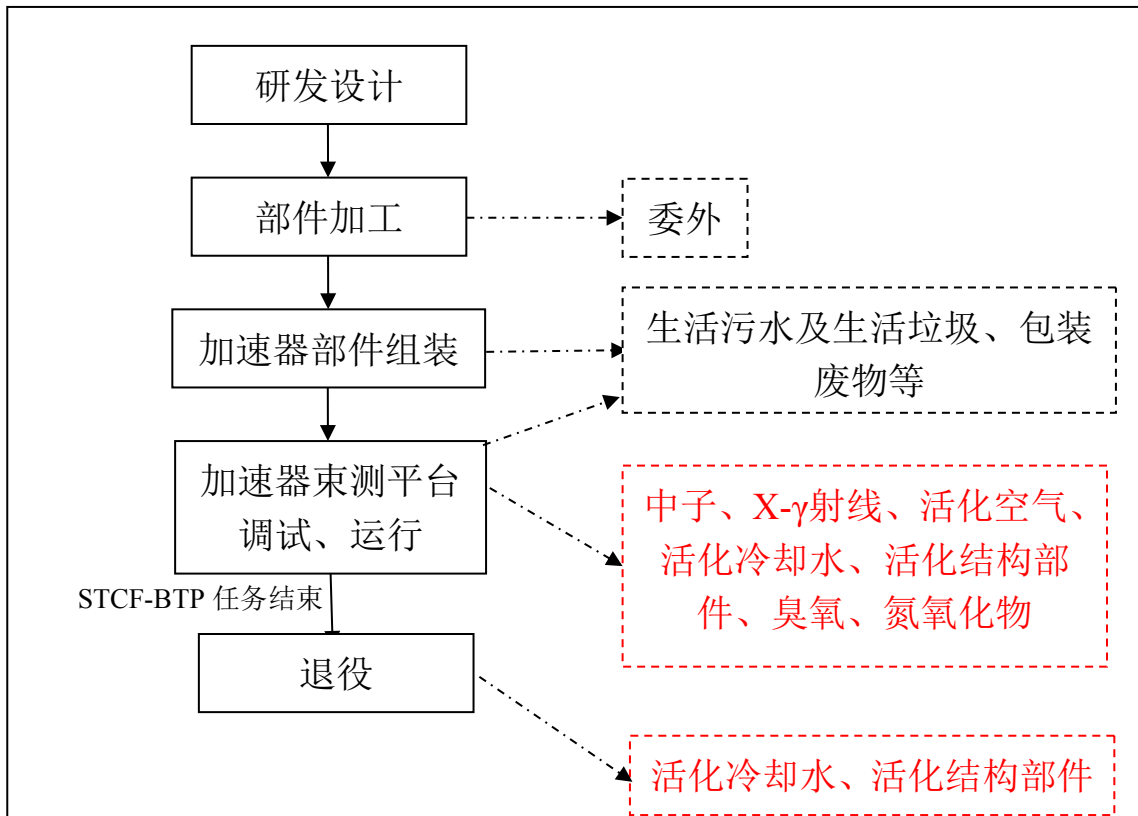


图 3.2-4 STCF-BTP 项目产污环节示意图

本项目辐射工作人员均由中国科大现有辐射工作人员兼任，拟配置 39 名，具体配置情况见表 3.2-3。

表 3.2-3 STCF-BTP 项目拟配置辐射工作人员

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

岗位名称	工作地点	人数
加速器安装调试	加速器装置测试大厅	21
加速器运行	控制室	6
加速器维护维修	加速器装置测试大厅	10
辐射安全与防护管理	加速器装置测试大厅	2
合计		39

3.2.4 工作负荷

本项目 STCF-BTP 装置在调试、运行及维修维护期间的出束时间详见下表所列。

表 3.2-4 STCF-BTP 加速器装置出束时间汇总表

工作状态	年最大出束时间，h
调试模式 1	100
调试模式 2	100
调试模式 3	100
运行模式 1	1000
运行模式 2	300
维护维修	80（每次进入加速器坑道时间 2h，每年按 40 次计算）

3.3 污染源项

本项目涉及的电子直线加速器束流由 keV 级能量最终加速到最高 100MeV，运行期间主要的辐射污染为开机出束时产生的“瞬发辐射”和停机后依然存在的“缓发辐射”。

瞬发辐射是电子加速器运行时损失的电子束流与结构部件、终端负载等发生核反应产生的，特点是能量高、辐射强，但随着质子电子加速器停机而完全消失。缓发辐射主要来自结构部件、设备冷却水、测试大厅内空气等被主束或次级粒子轰击产生的活化产物，在电子加速器停机后依然存

在。由于辐射工作人员在电子加速器停机后需要进入测试大厅内开展检查、维护维修等工作，因此，缓发辐射是辐射工作人员所受剂量的主要来源之一。

瞬发辐射中子和 γ 皆具有很强的穿透能力，穿过屏蔽层的中子和 γ 将对人引起直接的辐射剂量，以及穿过屋顶进入天空的中子由于散射（称为天空反散射）而对周围地面上的人引起辐射剂量。

瞬发辐射会引起加速器部件的活化，特别是束流损失较大处的部件，从而使检修人员受到辐射照射和产生一定量的活化固体废物，还会引起测试大厅内空气的活化（主要活化产物是 Ar-41、C-11、N-13、O-15、Be-7、H-3 等），以及设备冷却水的活化（主要活化产物是 O-15、C-11、Be-7 和 H-3 等），这些气态和液态放射性物质的排放会对环境造成一定的影响。此外穿过设备底层屏蔽而进入土壤的中子还会引起土壤和地下水的活化，也有可能对环境造成影响。不过对于本项目电子直线加速器来说这些影响都很小，详见其后章节的分析。

γ 射线还会引起测试大厅内空气中分子原子电离产生自由基，自由基的结合会产生有害物质（主要是 O_3 、 NO_x 和 HNO_3 ），这些物质的排放也会对环境带来一定的影响。根据本项目电子直线加速器运行时对环境的影响特征，后文将对以上各种污染源项进行详细分析。

3.3.1 瞬发辐射场

本项目电子直线加速器的电子在加速和输运的过程中，与周围介质发生相互作用，其部分或全部能量转化成各种形式的辐射，如轫致辐射、中子等。

当电子能量较低时，通过电离损失将能量传递给靶原子使其电离或激发；当电子能量大于介质的临界能量时，主要通过轫致辐射损失能量。轫

致辐射与靶原子作用主要产生高能正负电子对，从而发生电磁级联效应。常用的屏蔽材料如铁、铝、铜、铅、混凝土的临界能量在几 MeV~几十 MeV 的范围，且原子序数大的材料临界能低（如铅的临界能不到 10MeV），原子序数小的材料临界能高（如铝和混凝土的临界能约 50MeV），即高能电子在高原子序数材料中有更深的电磁级联簇射深度。

当韧致辐射光子能量较高，达到或超过了光核反应的阈能，还会发生一定概率的光核反应产生中子，不同能量的光子发生的光核反应不一样、产生的中子能量也不一样。当光子能量低于 30MeV 时，光致蜕变在“巨共振”区域内占主导地位，中子的产生主要来源于“巨光核共振”过程，巨共振中子的能量大约为几个 MeV。当光子能量高于 30MeV，超过巨共振区域时，发生伪氘核反应，产生伪氘核中子。对于较薄的屏蔽体，韧致辐射光子和巨共振中子在对屏蔽体外的剂量率贡献中占主导作用；对于较厚的屏蔽体，巨共振中子在对屏蔽体外的剂量率贡献中占主导作用。

3.3.2 天空反散射

穿过屋顶进入天空的中子和 γ 射线由于大气的反散射作用，在其周围地面附近会形成一定的辐射场。因此，在这种情况下需要把大气的反散射辐射限制在允许的水平。本项目对天空反散射的计算情况如下：

（1）天空反散射计算参考NCRP-144号报告的相关内容和Stapleton公式进行计算，即采用下面的公式（3.3-1）～（3.3-3）进行计算。

$$H(r) = \frac{k'}{(h+r)^2} e^{-r/\lambda} \times Q \quad (3.3-1)$$

$$Q = \frac{d^2}{g} \cdot H(d, t) \cdot \Omega \quad (3.3-2)$$

式中，各物理量含义如下：

$H(r)$ 为单位中子经天空散射后在距离源点 r 处产生的剂量，Sv/h；

$\kappa' = 2 \times 10^{-15} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{n}$ ，是 Stapleton 等人在考虑了注量和剂量转换等各项因素后给出的拟合修正值；

h 为拟合修正高度，取 40m；

r 参考点到源的水平距离，m；

λ 为空气中中子的有效吸收长度，m；

Q 为透过屏蔽墙的中子强度，n/h；

d 为源到顶屏蔽外表面的距离（m）；

g 为单位中子通量的当量剂量（ $\text{Sv} \cdot \text{m}^2$ ）；

$H(d,t)$ 为顶屏蔽外表面处的剂量率（ Sv/h ）；采用 FLUKA 程序按实际结构模拟得到的顶屏蔽外表面关注点在正常运行工况下的最大值。

Ω 为源对房间屋顶所张的立体角， Sr ；

（2）由 NCRP-144 号 P322 及 Fig.6.1 的表述，高能加速器（无论电子还是质子）的天空反散射取决于中子的天空反散射，光子的天空反散射相对于中子可以忽略。本次计算中采用 FLUKA 计算的顶屏蔽的总剂量率（中子与光子剂量率之和）来保守估计中子穿透顶屏蔽的数目。

本项目计算中，从保守和简化角度出发，均假设加速器测试大厅内的源为点源，计算参数取值见下表。

表 3.3-1(a) 天空反散射各计算参数取值

参数	取值	来源
$\kappa, \text{m}^2 \cdot \text{Sv/n}$	2E-15	常数
h, m	40	公式给出的拟合修正高度
$\lambda(E_c)(\text{m})$	370	本项目电子最大能量为 100MeV， λ 取 370m。
d, m	8.5	来自图纸测量
$g, \text{Sv} \cdot \text{m}^2$	4.4E-14	——

Ω , sr	1.53	——
H(d,t), Sv/h	7.8E-07	采用 FLUKA 程序按实际结构模拟得到的顶屏蔽外表面关注点在正常调试/运行工况下的最大值，为 0.78 μ Sv/h
Q, n/h	1.96E+09	——

计算点至源的距离 r 取值 20m 到 1000m，可计算得到不同距离处的天空散射剂量率值，详见下表。

表 3.3-1(b) 天空反散射计算结果

到源点距离 r (m)	H(r)剂量率(μ Sv/h)	到源点距离 r (m)	剂量率 (μ Sv/h)
20	1.03E-03	200	3.97E-05
40	5.51E-04	300	1.51E-05
50	4.24E-04	400	6.88E-06
60	3.34E-04	500	3.49E-06
70	2.69E-04	600	1.90E-06
80	2.20E-04	700	1.08E-06
90	1.82E-04	800	6.41E-07
100	1.53E-04	1000	2.43E-07

根据建设单位提供的资料，本项目电子直线加速器每年运行 1600 小时，即便在距离 20m 处（剂量率取 1.03E-3 μ Sv/h），楼外空地区域居留因子取 1/16，天空反散射造成的年剂量也仅有 1.03E-3*1600*1/16/1000=1.648E-03mSv/a。可见，天空反散射造成的年剂量很小，最大仅为 1.648E-03mSv/a，远低于公众剂量约束值。

3.3.3 感生放射性

加速器运行时束流损失在部件、真空管壁、靶等部位，产生瞬发辐射过程中，初始和次级粒子与周围设备、屏蔽体和空气、水等材料发生的核反应，会使材料内稳定的核素转变成具有放射性的核素，使其产生感生放射性，即发生材料活化。在加速器停机后，由束流损失产生的瞬发辐射立

即消失，但感生放射性依然存在，产生的放射性核素会按照衰变规律，放出 γ 、 β 等射线。

3.3.3.1 空气活化

加速器运行期间产生的次级中子与空气中的 N、O、H 等通过热中子俘获、 (γ, n) 反应和散裂反应等产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等放射性核素。根据 NCRP.144 号报告 (P339)，对于长半衰期核素 ^3H 和 ^7Be ，其产生率较低，可不必考虑。则空气感生放射性计算中主要考虑 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar 。

本项目会产生空气感生放射性的场所主要是加速器测试大厅内。

计算公式

考虑通风的情况下，加速器连续运行 t 时间后，停机时刻房间内空气活化产生的感生放射性核素活度可由下面的公式计算得到：

$$C_t = \frac{\lambda}{\lambda + r} N \sigma \phi (1 - e^{-\frac{\lambda}{\lambda + r} t}) \quad (3.3-4)$$

$$N = \frac{\rho}{M} \times f \times \theta \times N_A \quad (3.3-5)$$

式中，

C_t 为加速器运行 t 时间后，房间内空气中感生放射性核素的活度浓度， Bq/cm^3 ；

λ 为放射性核素的衰变常数， s^{-1} ； $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ；

r 为房间的换气次数， s^{-1} ；

N 为单位体积空气中靶核的数目， $\text{个}/\text{cm}^3$ ；

σ 为靶核的活化截面， cm^2 ；

ϕ 为中子注量率， $\text{n}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ；

ρ 为空气的密度， g/cm^3 ；

M 为靶核的原子质量，g；

f 为母核在空气中的质量份额；

θ 为母核的同位素丰度；

N_A 为阿伏伽德罗常数， $6.023E+23$ 。

由于空气中感生放射性核素的半衰期相对于加速器的运行时间较短，核素的浓度很容易达到饱和，因此，可将上式简化为计算饱和浓度，用饱和浓度评价也是偏安全的，简化公式如下：

$$C = \frac{\lambda}{\lambda + r} N \sigma \phi \quad (3.3-6)$$

加速器连续运行 t 时间后，再停机通风 t_c 时间后，房间内空气感生放射性核素活度可由式 3.3-7 计算得到：

$$C_{t_c} = C_t \cdot e^{-(\lambda+r)t_c} \quad (3.3-7)$$

各参数取值

各参数的取值如下：

(1) λ

表 3.3-2(a) 放射性核素衰变常数计算结果

放射性核素	$T_{1/2}, s$	λ, s^{-1}
^{11}C	1.22E+03	5.68E-04
^{13}N	6.00E+02	1.16E-03
^{15}O	1.26E+02	5.50E-03
^{41}Ar	6.48E+03	1.07E-04

(2) r

根据建设单位提供的资料，加速器测试大厅通风换气设计如下表 3.3-2（b）所示。

表 3.3-2(b) 质子治疗系统各区域通风换气设计情况

区域	建筑面积, m ²	层高, m	排风量, m ³ /h		换气次数, 次/h	
加速器测试大厅	337	8.8	平时: 1800	强排: 24000	平时: 0.6	强排: 8

(3)N

N 的计算结果如表 3.3-2（c）所示。

表 3.3-2(c) 单位体积空气中靶核的数目计算结果

核素	M, g	f	ρ , g/cm ³	θ , %	N_A	N, 个/cm ³
¹¹ C	12	1.50E-04	1.21E-03	99.759	6.023E+23	9.09E+15
¹³ N	14	7.80E-01	1.21E-03	99.625	6.023E+23	4.05E+19
¹⁵ O	16	2.12E-01	1.21E-03	99.759	6.023E+23	9.63E+18
⁴¹ Ar	40	4.60E-03	1.21E-03	99.60	6.023E+23	8.35E+16

(4) Φ

本项目中子注量率取 1.11E+05(n.cm⁻².s⁻¹)进行预测。

(5) σ

σ 取值来自《加速器保健物理》（H.W.帕特森，R.H.托马斯）P297，表 7.4， σ 取值与中子的能量有关，本次评价采用“总截面”进行保守估算，各靶核 σ 取值见表 3.3-2(d)。

表 3.3-2(d) 各靶核的活化截面取值

靶核	σ , cm ²
¹² C	2.00E-26
¹⁴ N	3.00E-26
¹⁶ O	6.00E-26
⁴⁰ Ar	6.10E-25

计算结果

利用以上公式可计算得出加速器测试大厅内感生放射性气体的浓度，具体见表 3.3-2(e)。

表 3.3-2(e) 加速器测试大厅内空气感生放射性核素的活度浓度

核素	运行期间饱和活度浓度，Bq/cm ³	停机强排风 10min 后的活度浓度，Bq/cm ³	导出空气浓度 DAC，Bq/cm ³
¹¹ C	1.56E-05	2.88E-06	1.00E+01
¹³ N	1.18E-01	1.53E-02	7.00E-02
¹⁵ O	6.25E-02	5.98E-04	7.00E-02
⁴¹ Ar	2.20E-03	5.36E-04	2.00E+00

注：DAC为职业照射导出放射性核素的空气浓度限值。由于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中缺少¹³N、¹⁵O、⁴¹Ar三种核素的对于职业照射食入和吸入单位摄入量所致的待积有效剂量值，因此，参考《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）附录C中表C3、表C4、表C5和表C10中职业放射性工作人员对应的DAC值。

由上表可知，停机强排风 10min 后，加速器测试大厅内空气感生放射性核素的活度浓度均低于各自的导出空气浓度值。

3.3.3.2冷却水的活化

STCF-BTP装置中用于冷却磁铁、加速管、热交换器等器件的冷却水，在由束流损失产生的中子辐射场的照射下会被活化。高能中子与冷却水中的氧发生散裂反应，产生³H、⁷Be、¹¹C、¹³N、¹⁵O等放射性核素，各放射性核素的参数见下表。

表 3.3-3(a) 冷却水中产生的主要感生放射性核素及其参数

放射性核素	半衰期（s）	衰变常数，s ⁻¹	核反应	反应截面σ(barns)
³ H	3.88E+08	1.78E-09	¹⁶ O(n, X) ³ H	6.00E-03

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

^7Be	4.56E+06	1.51E-07	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{X})^7\text{Be}$	2.00E-03
^{11}C	1.22E+03	5.67E-04	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{X})^{11}\text{C}$	3.50E-03
^{13}N	6.00E+02	1.16E-03	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{X})^{13}\text{N}$	7.00E-04
^{15}O	1.26E+02	5.67E-03	$^{16}\text{O}(\text{n}, \text{X})^{15}\text{O}$	1.40E-02

注：1、核反应方程中的 X 代指除重点关注核素以外的其他核素。

2.表中所列反应截面是在 CSISRS 数据库中查得，数据库中给出的反应截面与能量有关。考虑到计算的保守性，此次评价选用各核反应中最大的反应截面进行计算。

本项目装置冷却水系统由一次冷却水（去离子水）系统和二次循环冷却水系统组成。一次冷却水系统为闭式系统用于直接冷却或恒温 STCF-BTP 系统的各类冷却设备。二次循环冷却水系统经板式热交换器与前者进行水—水热交换。仅考虑一次冷却水的活化。

一次冷却水需要两路：一路非恒温水冷系统，负责对速调管的收集管、输出窗、聚焦线圈及油箱进行冷却，是为防止管道结露，工作温度在 35℃ 左右，不需严格控制；一路恒温水冷系统，其布局在屏蔽墙内，负责对加速管、ITC 电子枪、波导系统、传输线磁铁和聚焦线圈（加速管两侧）提供水冷，用于保持加速管的温度，加速管恒定在 $45 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 以内。因此，在计算冷却水感生放射性时，考虑到系统主要束流损失点位的分布，冷却水活化主要在恒温水冷系统回路，最终结果取该冷却回路各束流损失点产生的冷却水感生放射性之和。

计算公式

电子加速器运行期间，当冷却水系统经过无数次循环，冷却水活化的饱和浓度可利用式 3.3-8 计算：

$$C(i) = N\sigma_i\Phi \frac{1 - e^{-\lambda_i t_v}}{1 - e^{-\lambda_i T}} \quad (3.3-8)$$

式中：C (i) 为冷却水中第 i 种放射性核素的饱和浓度，Bq/cm³；

N 为冷却水中母核（ ^{16}O ）的原子数密度，取值 $3.34 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ ；

σ_i 为中子与母核（ ^{16}O ）生成核素 i 的截面， cm^2 ；

ϕ 为中子注量率， $\text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ ；

λ_i 为放射性核素的衰变常数， s^{-1} ， $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ；

t_v 为冷却水循环一周内流经靶室被中子辐照的时间， s ；

T 为冷却水循环一周的时间， s 。

参数选取及预测结果

① ϕ 为中子注量率， $\text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ ；中子注量率和空气活化分析一致。

② 冷却水参数

表 3.3-3(b) 一次循环冷却水设计参数

冷却水量，L	流量，L/min	冷却水管径，mm	冷却水循环一周的时间 T ，s	水历经各束流损失的时间 t_v ，s
1000	400	80	150	10

利用式（3.3-8）可计算得出：当冷却水系统经过无数次循环，水中产生的感生放射性核素的饱和活度浓度，预测结果详见下表。

表 3.3-3(c) 冷却水活化产生的放射性核素的饱和活度浓度

核素	$C(i)(\text{Bq/cm}^3)$	总活度（Bq）
^3H	1.49E+00	1.49E+06
^7Be	4.96E-01	4.96E+05
^{11}C	9.04E-01	9.04E+05
^{13}N	1.88E-01	1.88E+05
^{15}O	4.97E+00	4.97E+06

上述放射性核素中， ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 的半衰期很短，加速器停机后，这些核素将迅速衰变，浓度也会很快降低。因此，冷却水中的感生放射性核素主要考虑半衰期较长的 ^3H 和 ^7Be 。从上述计算结果可以看出，冷

却水的活化水平较低。

3.3.3.3 结构部件的活化

STCF-BTP 电子直线加速器结构部件的感生放射性主要是电子直接与结构材料相互作用产生。其中,产生感生放射性的是束流损失较大的部位,如主束废束桶、偏转磁铁等,其主要材料为不锈钢、无氧铜等。

相关实验研究表明,电子直线加速器停机后,结构部件将产生多种人工放射性核素的废物,如 ^3H 、 ^6He 、 ^7Be 、 ^8Li 、 ^{11}C 、 ^{12}B 、 ^{13}B 、 ^{21}Na 、 ^{23}Mg 、 ^{24}Al 、 ^{48}V 、 ^{49}V 、 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^{52}Mn 和 ^{60}Co 等核素。

按照合肥光源及自由电子激光光源等相关电子直线加速器的运行经验,对于短半衰期核素来讲,活化部件在储存衰变一段时间后即可达到豁免水平,甚至完全衰变。而对于长半衰期核素,不能通过储存衰变的方式低于其各自的豁免水平,其中活化程度最高的部件所产生放射性核素的活度浓度低于低水平放射性废物活度浓度的上限值,均属于低水平放射性废物。

3.3.3.4 土壤和地下水活化

本项目加速器测试大厅混凝土地板厚度为 1.0m,根据后文 5.2.1 节 Fluka 模拟计算结果,加速器测试大厅混凝土地板外表面的剂量率均低于 5mSv/h,因此,本项目的运行对土壤和地下水的影响可忽略。

3.3.4 臭氧等有害气体的产生

当光子能量低于 (γ, n) 反应的阈能时,光子对空气的辐照主要引起 O_3 和 NO_2 的产生。

根据 NCRPNO.144 报告,光子与空气中的氧气作用形成的 O_3 和 NO_2 的量可用式 3.3-9 计算:

$$C(t) = \frac{gI}{(\alpha + \kappa I + Q/V)} \left[1 - e^{-(\alpha + \kappa I + Q/V)t} \right] \times \frac{M * 1000}{N_A} \quad (3.3-9)$$

对于较长时间的辐照，t 趋于无穷、忽略 κI 项，则上式可简化为：

$$C_0 = \frac{gI}{(\alpha + Q/V)} \times \frac{M * 1000}{N_A} \quad (3.3-10)$$

计算参数见表 3.3-4(a)，计算结果见表 3.3-4(b)。

表 3.3- 4(a) O₃ 和 NO₂ 的浓度计算参数

参数	物理意义	取值/计算结果	单位
$C(t)$	T 时刻浓度	/	mg/m ³
C_0	饱和浓度	/	mg/m ³
g	气体分子产生率	g[O ₃]=0.103, g[NO ₂]=0.048	eV ⁻¹
I	空气沉积能量*	2.25×10^{15}	eV.m ⁻³ .s ⁻¹
α	气体分子沉积速率	2.3×10^{-4}	s ⁻¹
κ	气体辐照离解常数	1.4×10^{-16}	s ⁻¹ eV ⁻¹
Q/V	通风换气次数	运行时以 0.6 次/h；停机后 8 次/h，换算成每秒通风换气次数分别为 0.6/3600=1.67E-4 和 8/3600=2.22E-3	s ⁻¹
M	气体质量数	M[O ₃]=48, M[NO ₂]=46	g/mol
		1000 为单位换算系数	
N_A	阿伏伽德罗常数	6.022E+23	1/mol

将上述数据代入公式（3.3-10），计算出结果如表 3.3-3（b）所列。

表 3.3-3(b) O₃ 和 NO₂ 的浓度计算结果

场所		浓度（mg/m ³ ）	
加速器装置测试大厅		O ₃	NO ₂
运行时的饱和浓度 C ₀		4.99E-02	2.23E-02(4.01E-05kg/h)
停机强排风 10min 后的浓度 C _t		1.17E-02	5.21E-03 (5.35E-04kg/h)
GBZ2.1-2019 中室	最高容许浓度，	0.3	——

内浓度限值	mg/m ³		
	时间加权平均容许浓度, mg/m ³	——	5
GB16297-1996 排放限值	最高允许排放浓度, mg/m ³	——	240
	最高允许排放速率, kg/h	——	0.77*

*备注：取自《大气污染物综合排放标准》表 2 中排气筒高度 15m、二级的数据。

由上表可知，加速器装置测试大厅内臭氧、氮氧化物饱和浓度满足《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中工作场所空气中化学物质容许浓度限值；氮氧化物排放也满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表 2 的排放限值。

3.3.5 电磁辐射

本项目直线加速器的微波功率源系统频率为 2998MHz, 主要用于提供稳定可调的微波电场幅度和相位，对束流能量加速，微波系统在工作时会产生电磁辐射。

为了保证电场幅度、相位等闭环的工作稳定性，以及减小辐射源对外界的干扰，厂家出厂前已在微波系统功率源的结构与工艺设计中采用金属屏蔽腔：内置独立屏蔽腔体结构，外部配置金属机柜；高频功率源整机系统中高频放大链和低频控制电路、外围电路在结构上分腔设计，降低电磁辐射对控制电路及外界的干扰。经过以上措施后，可以使周围环境的电磁辐射造成的功率密度小于国家规定的管理目标限值。电磁辐射对工作人员的影响较小，对环境的影响也较小。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

STCF-BTP中所涉电子直线加速器运行期间，会产生放射性废气、

放射性废水和放射性固体废物，各种放射性废弃物的来源、种类、活度浓度或比活度、总量、处理或排放方式详见表3.4-1。

表 3.4-1 放射性废弃物一览表

废弃物类型	来源	产生浓度或产生量	废弃物分类	处理或排放方式
放射性废气	测试大厅内活化空气	1.83E-01Bq/cm ³	低放废气	经通风系统直接排入外环境
放射性废水	活化冷却水	8.04Bq/cm ³	低放废水	收集贮存定期监测，达标后经主管部门许可后外排
放射性固体废物	被活化的加速器结构部件和负载	约 100kg	豁免或低放废物	分类收集后存于放射性固体废物暂存间内，达到一定量后委托有资质单位处置

合肥先进光源园区已在技术安全楼一层设置了放射性固体废物暂存间（面积44m²、容积120m³），STCF-BTP运行期间产生各类放射性固体废物经分类收集、简易包装后转运至此处，在暂存间按照《低、中放水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）相关要求分类收集、包装后，装入带有分类标记的专用容器内暂存。放射性固体废物暂存量超过暂存间50%容积后，委托城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

3.4.2非放射性废弃物

①废气：电子束流损失产生的次级 γ 射线电离空气产生的臭氧和氮氧化物，其饱和浓度已在第3.3.4节中给出。废气将通过通风系统从屋顶排入外环境。

②废水：本项目运行过程中会产生少量生活污水，收集后经化粪池

处理后排入市政污水管网。本项目依托合肥先进光源配套工程已建的化粪池和污水管网。

③固废：STCF-BTP电子直线加速器在安装、调试、检修等阶段将产生一定量固体废物，年产生量预计约50kg/a，主要为废零部件、包装材料、真空清洗安装和线缆安装所产生的废物，经集中收集后，由当地物资公司回收利用。生活垃圾分类收集后由环卫部门统一清运。

4 辐射安全与防护设施

4.1 场所布局与分区

4.1.1 场所布局

B-2#加速器测试大厅共两层，一层主要为加速器装置测试大厅、速调管走廊、激光洁净室、电气间、电源间、空调机房、排烟机房、门厅等；二层主要为控制室、办公室等。功能和布局相对独立，无关人员不会进入，布局合理。

合肥先进光源已在合肥先进光源园区已在技术安全楼一层设置了放射性固体废物暂存间（面积 44m²、容积 120m³），本项目产生的放射性固体废物依托其暂存、处置。

4.1.2 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目利用合肥先进光源配套工程已建的 B-2#加速器测试大厅，不改变其原有分区。辐射工作场所分区详见图 4.1-1，具体分区如下：

- （1）控制区：加速器装置测试大厅及放射性固体废物暂存间。
- （2）监督区：一层的速调管走廊、激光洁净室，二层的控制室，以及迷宫入口门、货物入口门外等与控制区直接相邻的区域。

控制区管理要求：钥匙联锁列入安全联锁系统。加速器带束调试期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区内，进入控制区的

辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；放射性固体废物贮存库设置双人双锁，在入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志。

监督区管理要求：监督区入口处设置标牌标明监督区，监督区地面设置黄色警示线，控制室和相关辅助机房设置门禁。

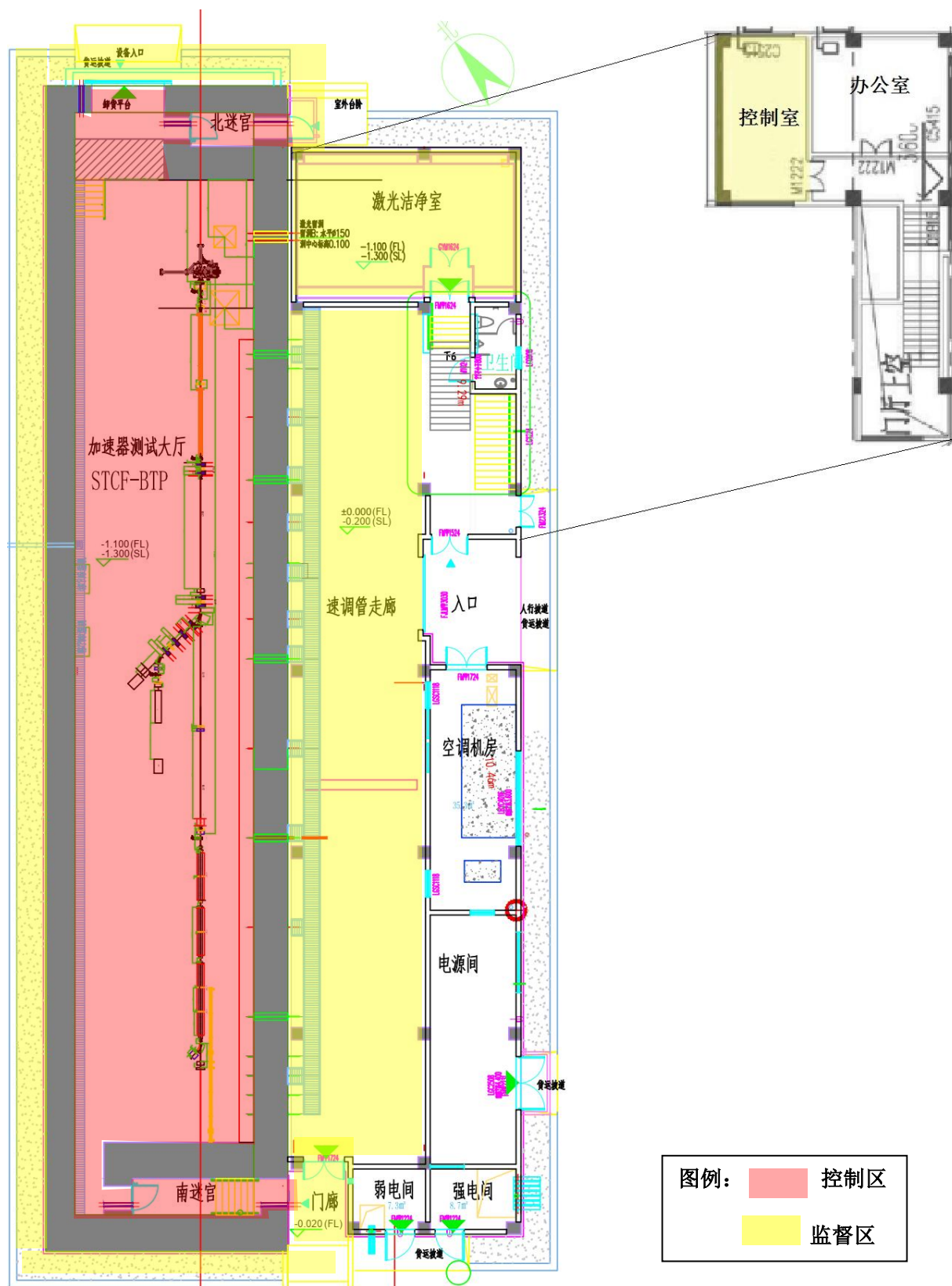


图 4.1-1 本项目涉及的工作场所辐射工作场所分区图

4.2 辐射屏蔽

4.2.1 屏蔽设计

加速器测试大厅：房屋净高约 8.8 m，净宽 7.4 m，净长 45.6 m，坑道采用半地下结构；其中包括用于波导穿墙、公共设施冷却水管穿墙预留孔 13 个（直通），直径 300 mm；激光穿墙孔 2 个（直通），直径 150 mm；另外，用于线缆穿墙孔 5 个（斜下穿），直径 200 mm。加速器装置测试大厅辐射屏蔽设计方案如下表 4.2-1。

根据 STCF-BTP 装置定位图，束流线中心距东侧墙（速调管走廊一侧）2.2m，束流平面距地 1.2m（标高 0.1m）。

表 4.2-1 加速器装置测试大厅屏蔽措施及周围环境状况

场所名称	位置	屏蔽厚度	周围环境
加速器装置测试大厅	尺寸	外轮廓：48.2m（长）*10.0m（宽）*10.9m（高）；房屋净尺寸：45.6m（长）*7.4m（宽）*8.8m（高），加速器坑道为半地下结构，完成面标高-1.1m	/
	西侧屏蔽墙	厚度为1.2m	消防车道、园区内绿地
	南侧迷宫外墙	厚度为1.5m	消防车道、园区内绿地
	南侧迷宫内墙	长6.2m、高3.5m、厚度为1.5m，迷宫顶板厚1.0m	迷宫
	南迷宫门	外入口设置推拉防护门，7cmPb+6cm含硼聚乙烯+8cmPb，门与墙体搭接15cm、缝隙≤1cm	门廊
	东侧屏蔽墙	厚度为1.4m	一层为激光洁净室、速调管走廊，二层为控制室、设备管线层

超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

	北侧迷宫外墙	长5.1m、厚度为1.1m	消防车道、园区内绿地
	北侧迷宫内墙	长3.7m、高2.7m、厚度为1.4m，迷宫顶板厚1.0m	迷宫
	北迷宫门	外入口设置平开防护门，8cmPb+6cm含硼聚乙烯+9cmPb，门与墙体搭接15cm、缝隙 $\leq 1\text{cm}$	室外台阶
	北大门	门洞尺寸3.0m*3.0m，设置推拉防护门，18cmPb+12cm含硼聚乙烯+15cmPb，门与墙体搭接30cm、缝隙 $\leq 1\text{cm}$	室外货运入口
	顶棚	厚度为0.9m	屋面上空
	底板	厚度为1.0m	土壤层
	波导管及水管孔洞	预留孔洞直径30cm，波导管及水管直径8cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙（完工后需进行屏蔽效果检测）	速调管走廊
	激光孔洞	预留孔洞直径15cm，激光管直径8cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙	速调管走廊
	线缆斜穿孔洞	预留孔洞直径20cm，线缆管直径10cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙	速调管走廊
	通风	测试隧道北迷宫上方设一个排风管引出口。通风管道采用“S”形穿墙方式。	屋面
备注：模拟计算时，铅沙密度按铅50%的密度取值，即 $11.350 \times 0.5 = 5.675\text{g/cm}^3$ 。			

STCF-BTP 项目辐射防护屏蔽系统涉及的结构设计主要包括：负电子段末端废束桶、负电子段能谱靶末端废束桶、正电子段末端法兰。关键设备设计汇总见表 4.2-2。

表 4.2-2 关键设备设计汇总

负电子段末端废束桶	1.采用不锈钢外壳，长方体外形，屏蔽材料内R=400mm，壁厚20mm，高度H=810mm，主体内部纵向依次填充“40mm石墨+250mm铁+140mm含硼聚乙烯+40mm铁+70mm铅+310mm铁”材料，累计纵向屏蔽尺寸=810mm，开孔尺寸D=120mm，深L=160mm。含硼聚乙烯内径R=100~200mm，铅内径R=220~270mm。最终废束桶主体的尺寸（长×宽×深）为840mm×840mm×910mm。 2.屏蔽材料使用的铸铁层采用10mm板累加堆叠方式制造，铅屏蔽采用10mm厚度板累积叠加。详见下图4.2-1（a）
负电子段能谱靶末端废束桶	外形尺寸：上底半径40cm，下底半径100cm，高37cm的圆锥台的一部分（沿上底圆切线垂直切割剩余部分）；内部结构：最内层圆柱体为半径15cm，高20cm的铜；次内层圆柱体外半径18cm，高25cm的含硼聚乙烯；第三层圆柱体外半径28cm，高30cm的铅；其余部分为铜。 详见下图4.2-1（b）
正电子段末端法兰	R=70mm，H=80mm，不锈钢材质。
法拉第筒	外壳为不锈钢，内为铜，详见下图4.2-1（c）
正电子靶（钨靶）	尺寸：直径4mm、高7mm圆柱，外围是包裹铜的水冷底座（直径20mm的一个铜座）

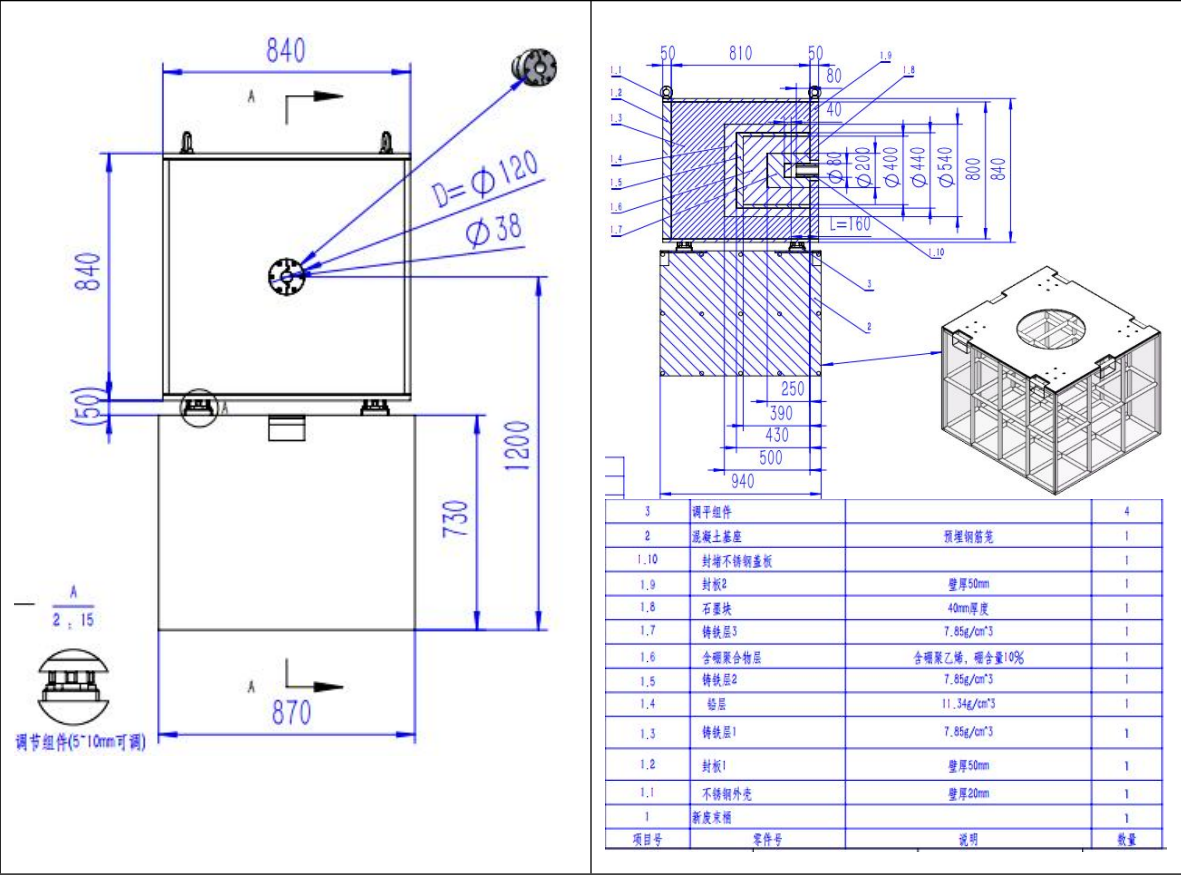


图 4.2-1(a) 负电子段末端废束桶屏蔽示意图

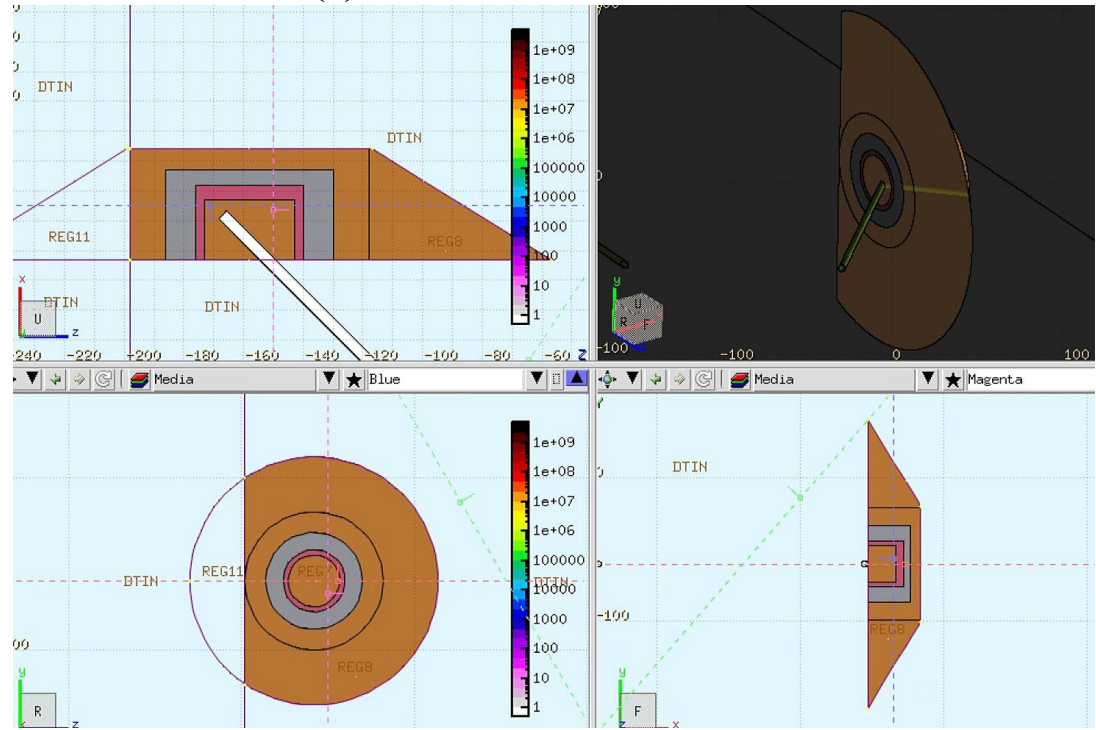


图 4.2-1(b) 负电子段能谱靶末端废束桶屏蔽示意图（不同视向）

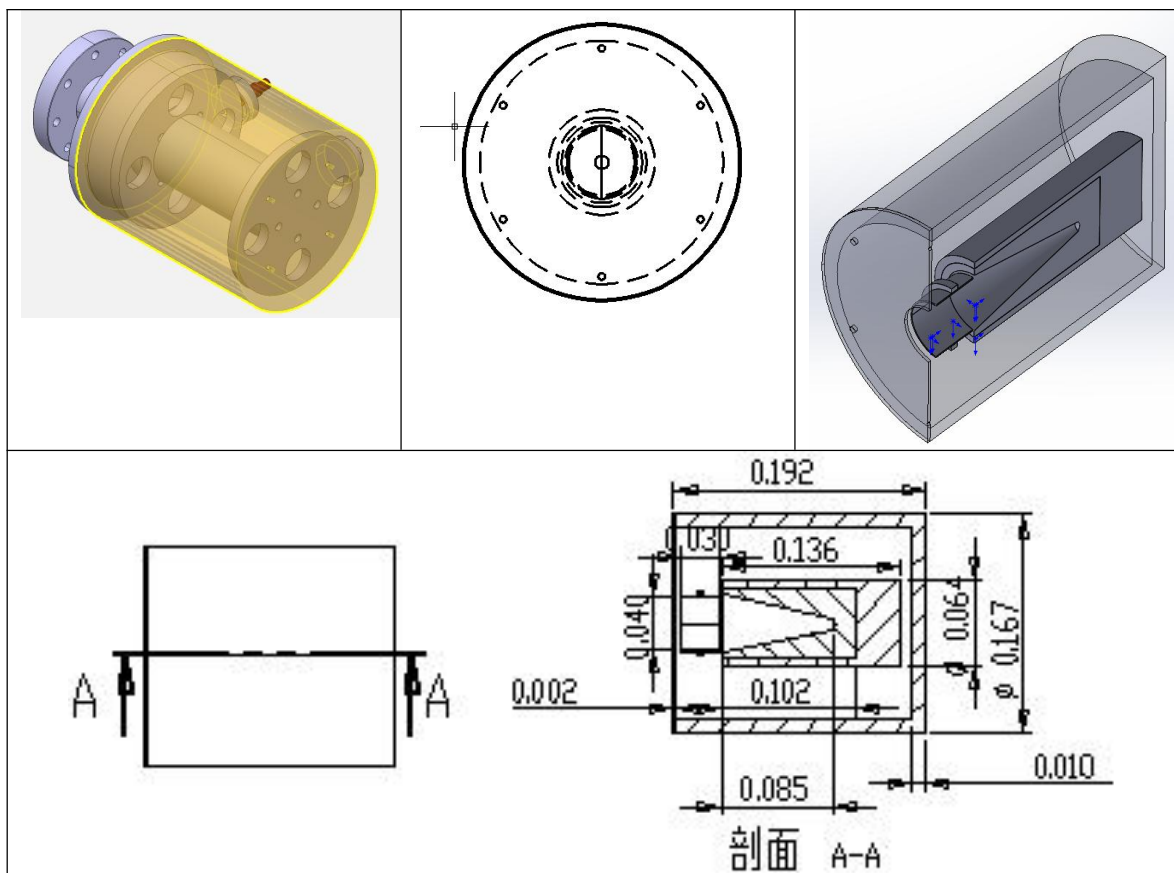


图 4.2-1(c) 法拉第筒屏蔽示意图

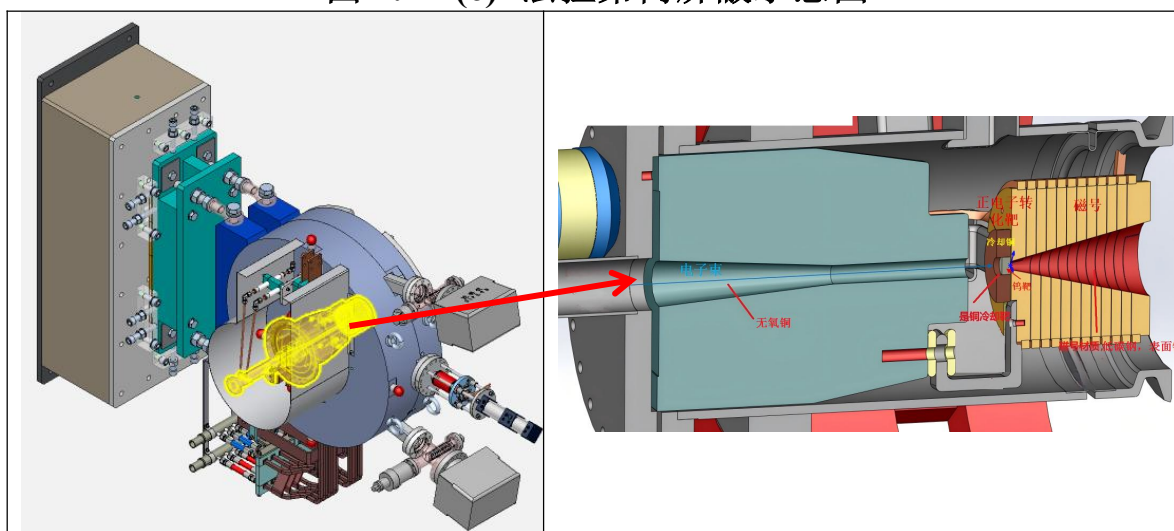


图 4.2-1(d) 正电子转换靶示意图

4.2.2 辐射屏蔽计算方法

从前述工艺分析可知，本次评价项目依托已建的直线加速测试大厅。

因此，本报告拟对 STCF-BTP 中所涉 100MeV 电子直线加速器在各种调试和运行模式下进行屏蔽计算，评估依托现有机房屏蔽措施和辐射安全设施的可行性。计算采用蒙特卡罗程序 FLUKA 进行详细模拟及经验公式计算两种方法。

从计算方法看，采用蒙卡程序 FLUKA，建立详细可靠的几何模拟进行模拟计算，尽可能真实地模拟粒子与物质环境的相互作用，可以比较准确地模拟辐射场。

经验公式计算主要依据 NCRP Report No.51 《Radiation Protection Design Guidelines For 0.1~100MeV Particle Accelerator Facilities》中的计算模式和相关参数。对于本项目 100MeV 电子直线加速器的辐射防护计算而言，由于其源项复杂，射线种类多等因素，传统经验公式计算结果往往会过于保守，并且无法给出剂量分布图。

其详细的几何模型和计算结果见 5.2.2 节和 5.2.3 节。屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案如上表 4.2-1 和表 4.2-2 所示，。

4.3 辐射安全与防护措施

本次评价的超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）拟依托合肥先进光源配套工程项目已建的安全联锁系统及监测系统硬件设施，将STCF-BTP设备接入至现有系统软件中，对控制逻辑改造升级及测试验证。

4.3.1 人身安全联锁系统

4.3.1.1 系统总体设计

STCF-BTP加速器人身安全联锁系统（PSS）是在合肥光源PSS设计和运行的经验基础上，同时借鉴国内外粒子加速器PSS的优秀实践设计而成，以

可编程逻辑控制器（PLC）硬件联锁控制为主、门禁软件管理为辅，结合使用联锁门禁卡以确保系统的高可靠性和高稳定性。

其设计遵循以下原则：

①简单可靠：系统需要在简洁的基础上保证运行的可靠性及稳定性；系统关键联锁信号尽量由硬件设备给出，最大限度地保证系统的高可靠性。

②失效安全：系统关键设备出现故障或失效时可以避免出现失控性后果，必须自动导向预定的安全状态。

③纵深防御：充分考虑并合理设置联锁装置和设施，实现对人身辐射安全的多重冗余保护，且各重保护措施之间具有相互独立性。

④最优切断：该原则包含两层含义。第一层含义是系统联锁逻辑在加速器控制系统中具有最高的优先级切断束流；第二层含义是联锁系统发生意外解联锁时，应切断最能保证彻底消除辐射源的关键设备。

⑤以人为本：该原则包含两个方面：系统是在保障人员人身辐射安全的基础上兼顾加速器的机器运行安全；系统要具备人性化的特点，如联锁逻辑简洁合理、操作简单、维护方便、人机交互性好等。

4.3.1.2 基本结构

加速器测试大厅射线装置安全联锁系统基于冗余PLC设计实现安全联锁主控制逻辑，通过分布式远程I/O站分别采集门禁系统、急停按钮、巡查按钮、声光报警等各类联锁信号，并构建工业以太网实现与EpicsIOC、OPI和其他系统的通信。安全联锁系统的硬件结构图如图4.3-1所示。

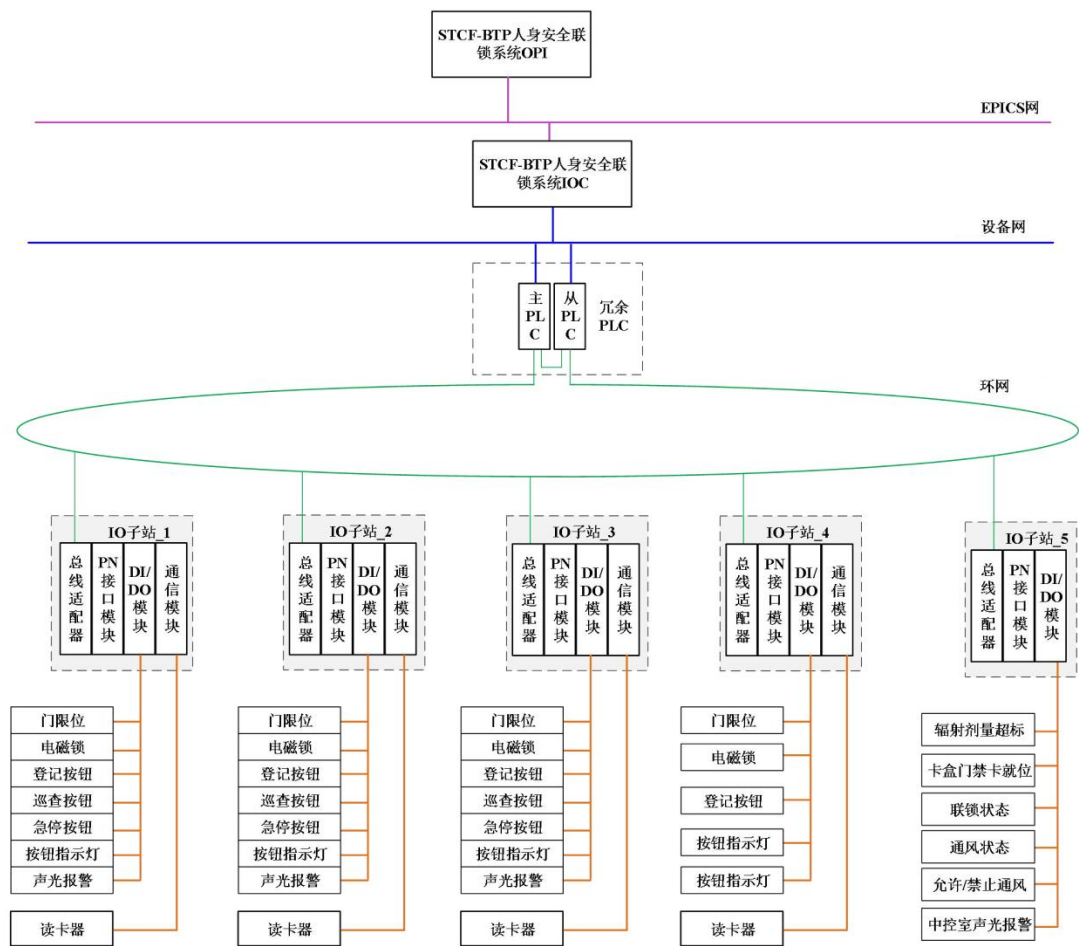


图 4.3-1 系统硬件结构图

人身安全联锁系统与STCF-BTP的运行模式相关。

表 4.3-1 STCF-BTP 运行状态与人身安全联锁系统管制对照表

运行模式	控制区的区域管制	进出条件
STCF-BTP 装置运行	禁止进入	门禁刷卡无效，不允许人员进入控制区
STCF-BTP 装置停止运行并且控制区经过剂量衰减和强通风后	控制进入	工作人员凭联锁门禁卡可进出控制区域
控制区搜索清场	限制进入	只有使用管理门禁卡（高权限卡）才可进入

4.3.1.3 系统主要设备

加速器测试大厅人身安全联锁系统是通过联锁控制器PLC来处理和交换信号，并通过分布在控制区内的现场设备来采集信号和执行动作。主要设备为冗余PLC、分布式IO子站及联锁组件等。

（1）冗余PLC、IO站

冗余PLC是实现系统联锁逻辑的核心部件，实时同步程序以及过程数据，保证系统的不断工作。人身安全联锁各IO站采集加速器通道门、区域剂量及紧急停机按钮等设施的信号，并提供给冗余PLC。PLC基于采集的各路联锁信号，进行联锁逻辑判断，并向各子IO站发送联锁控制信号，从而执行联锁动作，以此来保障装置的安全运行及工作人员的人身安全。

测试大厅的每个门附近设置一个分布式IO子站，子站的输入信号来自门禁联锁组件、巡查按钮、登记按钮、急停按钮，输出信号则为声光报警、按钮状态指示灯、联锁状态显示和联锁输出。分布式IO子站通过网络与安装在控制室的冗余PLC通信。

（2）门禁联锁组件

控制区的联锁门需要确保：控制区内部存在束流时联锁门无法打开；控制区联锁门被打开时加速器无法出束。门禁联锁组件的功能主要体现在能够有效阻挡、识别直至自动切断运行等，采用冗余设计。

控制区有3套联锁门，均配置标准联锁设备（配置门禁控制箱、门电磁锁、门限位开关、内外刷卡器、玻璃破碎按钮）。门禁联锁组件以及各类按钮组件的分布如图4.3-2所示。

（3）门禁卡及门禁卡盒

门禁卡用于辐射工作人员进入辐射工作场所控制区前，通过在联锁门外进行刷卡验证，来确保进入安全。门禁卡分为管理卡和一般联锁门禁卡，在清场时，联锁门外刷卡器除管理卡外，其他联锁门禁卡都不能刷卡开门，以

限制人员在清场期间再进入控制区。

门禁卡盒存放安全门的所有门禁卡，并检测所有门禁卡是否都处于就位状态，并输出一路门禁卡就位信号给人身安全联锁系统。

（4）巡查按钮、登记按钮

巡查按钮和登记按钮分布于加速器测试大厅中，如图4.3-2所示，巡查按钮主要功能为：在清场巡查搜索时工作人员要巡视全场并按下各处的巡查按钮建立对应点的逻辑，确保在装置开机前无人员滞留在加速器测试大厅。登记按钮主要功能为：在清场搜索时工作人员要确保屏蔽门已经关上，并按下对应的登记按钮。巡查按钮每10米设置一个；登记按钮设置在每个门附近。

（5）急停按钮

急停按钮分布于加速器测试大厅中，如图4.3-2所示。主要功能为，若加速器开机后仍有工作人员停留在大厅内，可按下大厅内的急停按钮来切断加速器运行。“急停按钮”一旦按下将切断允许开机信号，致使装置无法运行。此时系统恢复必须由人工进行复位。急停按钮每10米设置一个。

（6）紧急开门按钮

在北迷宫门和南迷宫门（均为人员通道门）内侧墙上各设置一个紧急开门按钮，发生紧急情况时按下，则相应迷宫门立即打开，束流停止。北大门主要用于货物运输，一般情况不打开，因此未考虑设置紧急开门按钮。

（7）警告警示装置

警告警示装置主要包括电离辐射警示标志、控制区入口处的显示屏，控制区内部的指示灯、警铃等。

控制区门口设置明显的电离辐射警告标志和紧急出口指示；加速器测试大厅部件活化较高剂量率区拟设放射性警示标志。控制区门入口的显示屏是方便工作人员了解控制区管制状态，并按照系统的提示进行操作。控制区内

部的指示灯、警铃用于控制区搜索清场时和装置准备开机时的声光报警。在南迷宫门外及调速管走廊东侧入口处各设置一个显示屏，并架设监视器；控制区内部均匀分布指示灯、警铃和监视器。另外，在控制室也设置声光报警。

加速器测试大厅人身安全联锁系统的主要设备统计如下表4.3-2所示。

表 4.3-2 系统主要设备统计表

设备类型	数量	位置
冗余 PLC 及分布式 IO 子站	1 套	——
门禁联锁组件	3 套	各入口门
门禁卡盒及门禁卡	1 套	——
登记按钮	3 个	南、北迷宫门外，北大门内
巡查按钮	4 个	控制区内西墙
急停按钮	10 个	控制区内 9 个均匀布设，控制室 1 个
紧急开门按钮	2 个	南、北迷宫门内侧
声光报警	5 个	控制区内 2 个，北大门外、北迷宫外、控制室各 1 个
显示屏	2 个	南迷宫门外、调速管走廊东侧入口处



图 4.3-2 门禁联锁组件及按钮组件布局示意图

4.3.1.4 系统状态及运行流程

加速器测试大厅人身安全联锁系统与STCF-BTP加速器人身安全联锁一致，也具有3种运行状态：解锁（Unlocked）状态，清场（Searching）状态和联锁（Locked）状态。系统处于不同状态时，现场指示灯颜色也相应变化，以便于现场人员迅速识别当前所处的系统状态：系统处于解锁状态时，指示灯颜色为绿色，表示装置未运行，联锁未建立；系统处于联锁状态时，指示灯颜色为红色，表示联锁已建立；系统处于清场状态时，指示灯颜色为橙色，表示正在清场，装置即将开始运行。3种运行状态之间的转换如图4.3-3所示。

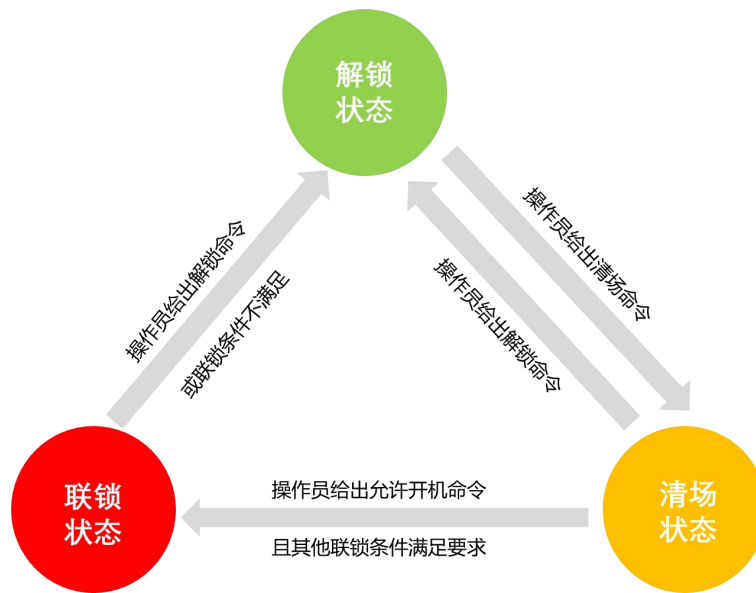


图 4.3-3 加速器测试大厅人身安全联锁系统状态迁移图

STCF-BTP人身安全联锁系统的运行工作流程具体如下：

（1）装置准备运行前，工作人员启动人身安全联锁系统控制界面的清场按钮，系统将广播通知人员离开联锁控制区域，现场指示灯由解锁状态的绿色变成橙色；所有安全门门外刷卡器除清场专用联锁门禁卡能够刷卡开门外，其他联锁门禁卡都不能刷卡开门。同时，清场人员按照设定的路线（见

图4.3-2) 进行控制区清场巡查，清空滞留人员，并沿途依次按下清场路线中的巡查按钮。

(2) 巡查清场结束后关闭联锁门，按下门旁的登记按钮；

(3) 工作人员在联锁系统界面上点击允许开机按钮，联锁系统给出允许开机信号。

(4) 装置启动运行后，控制区域指示灯显示红色，任何联锁门禁卡都不能在门外刷卡进入控制区；

(5) 装置运行期间，如出现异常情况时，可通过紧急停机按钮等设备触发紧急停机动作，系统将快速切断电子枪和微波功率源等设备以保障人员安全。同时，通知辐射防护值班员，待异常情况解除后，由辐射防护值班员重新复位开机。

(6) 装置结束运行后，工作人员点击安全联锁系统控制界面的解锁按钮，使安全联锁系统处于解锁状态。此时如果有进入控制区需求，等待剂量衰减后，人员可刷卡进入。

4.3.1.5 系统联锁逻辑

人身安全联锁系统联锁逻辑的制定与装置的运行模式有关，STCF-BTP有五种工作模式。根据工程设计，不管装置处于何种工作模式，其人身安全联锁控制区域都是加速器测试大厅。所以装置处于工作模式时，需启动加速器测试大厅控制区域的切束联锁功能，控制区域人身安全联锁建立后，禁止任何人进入控制区；一旦联锁条件不满足，立即切断束流，保护人身安全。

加速器测试大厅人身安全联锁系统的联锁逻辑图如图4.3-4所示，装置调试和运行期间，联锁逻辑根据工作模式、安全门、巡查按钮、登记按钮及剂量测量系统等各个状态进行综合判断STCF-BTP开机条件是否满足。

装置开机前，由工作人员按固定次序进行现场巡查，确认无异常情况，依次按下巡查按钮，并锁好各安全门同时按下每个门对应的登记按钮，使得按钮、安全门和剂量联锁完成。开机条件全部满足后，工作人员点击控制界面上的“允许开机”按钮，给出开机允许命令，完成整个联锁过程。此时输出指示变绿，允许装置开机。

巡查按钮、登记按钮和门是联锁的，联锁建立后，如再次打开门，所有的巡查按钮和登记按钮中复位自锁触电自动释放，若要恢复联锁必须再次巡场一遍重新复位。通过人工判断与自动逻辑两种方式可以保证本联锁系统的可靠。

剂量联锁：辐射监测系统根据测量的各个监测点的剂量数据，判断是否存在剂量超标，并输出剂量超标信号给安全联锁控制器，如发现剂量超标立即设置安全联锁控制器内对应的逻辑位标识，进而切断允许开机信号。

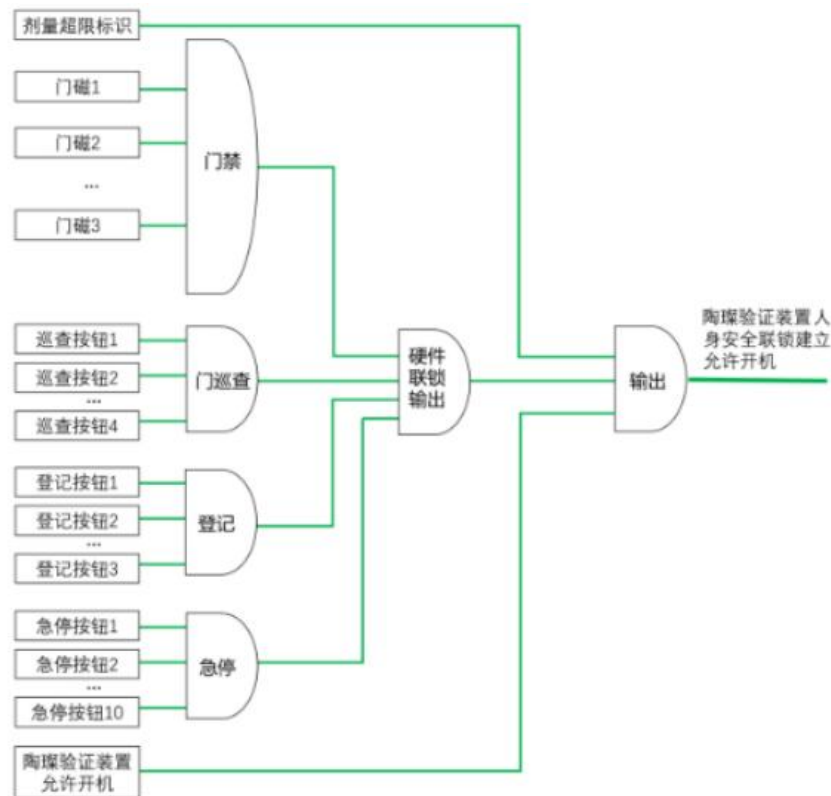


图 4.3-4 加速器测试大厅人身安全联锁系统逻辑图

4.3.1.6 相关系统信号接口

系统的输入输出信号通过分布式IO子站采集及输出，其中1个子站与冗余PLC部署在机房中的同一个控制机柜，用于采集剂量超标、通风状态、联锁门禁卡盒的卡就位等信号，以及输出联锁状态信号、允许通风信号等；另外6个子站安装于本地控制箱，采集附近的门禁联锁组件信号、登记/巡查/急停等各类按钮信号，以及输出声光报警等信号。

加速器测试大厅人身安全联锁系统通过与射线装置控制系统、通风系统进行信号交互，共同完成联锁安全保护。安全联锁系统信号与外部系统的交互关系示意图如图4.3-5所示。

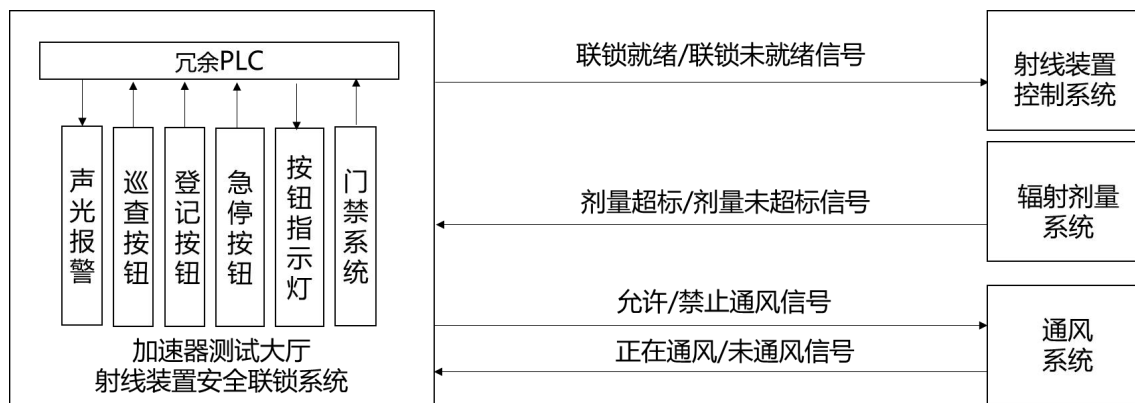


图 4.3-5 系统信号交互关系示意图

（1）射线装置控制系统交互信号

安全联锁就绪信号：此信号由安全联锁系统发送给射线装置控制系统，为PLC控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表控制区安全联锁就绪和安全联锁未就绪。

（2）辐射监测系统交互信号

剂量超标信号：此信号由辐射监测系统发送给安全联锁系统，为PLC控制的继电器信号，继电器闭合代表剂量不超标，继电器断开代表辐射监测系统故障或剂量超标。

（3）通风系统交互信号

允许/禁止通风信号：此信号由安全联锁系统发送给通风系统，为PLC控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表允许和禁止控制区通风。

通风状态信号：此信号由通风系统发送给人身安全联锁系统，为PLC控制的继电器信号。继电器闭合代表控制区处于通风状态，继电器断开代表未处于通风状态或通风系统故障。

4.3.2辐射监测系统

STCF-BTP 监测系统拟使用 HALF 配套项目已有监测系统（包含在 HALF 整体的辐射监测系统中），并将新增设备接入至现有监测软件中。

4.3.2.1 辐射监测系统概述

HALF的辐射监测系统主要组成如下：

- ①工作场所监测。包括外照射监测、表面污染监测。其中外照射又分为在线剂量率监测、离线累积剂量监测、便携式剂量率巡测。
- ②个人剂量监测。包括外照射监测、表面污染监测。
- ③环境监测。包括周围环境的辐射水平监测、环境介质监测。
- ④流出物监测。包括活化冷却水以及活化固体废物的监测。

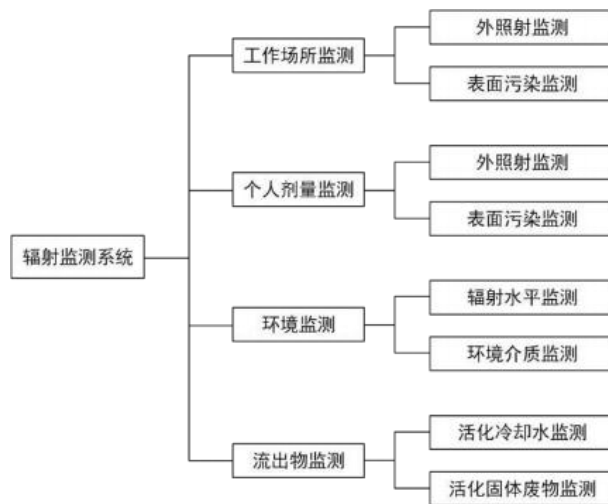


图 4.3-6 辐射监测系统组成

4.3.2.2 工作场所监测

1) 场所固定剂量监测点位

根据辐射场的预估，加速器测试大厅共计 6 个监测点：

① 出入口。使工作人员在进入辐射控制区域之前先了解场所内的辐射场强度，避免加速器开机或者刚关机时可能误入造成的过量照射。

加速器测试大厅屏蔽区域出入口设置了 3 个监测点。

② 速调管走廊。由于速调管走廊与注入器隧道之间的屏蔽墙开孔较多，因此在速调管走廊设置 1 个监测点。

③ 屏蔽墙外。由于某些点位束流损失较大，需要设置监测点。因此，在西屏蔽墙外设置一个监测点。

④ 中控室。中控室有人 24 小时值班，设置 1 个监测点。

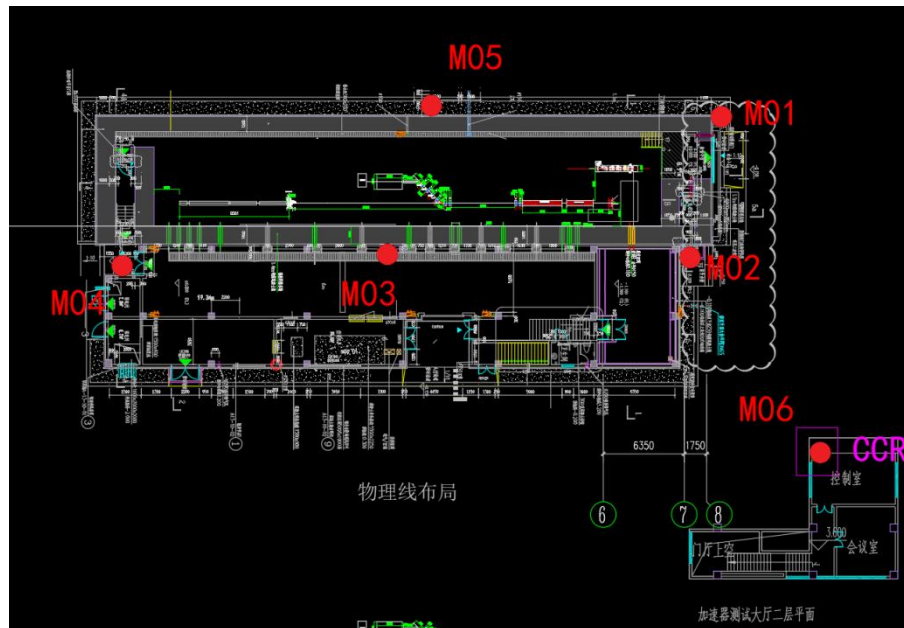


图 4.3-7 加速器测试大厅监测点分布图

表 4.3-3 STCF-BTP 工作场所与环境固定辐射监测点

序号	区域	监测点	数量	备注
1	加速器装置测试大厅 STCF-BTP	人员出入口	3	原有设备
		速调管走廊	1	
		中控室	1	本次新增
		西屏蔽墙外	1	
合 计	/	/	6	/

所有监测点的数据通过光缆接入控制室辐射监测系统的控制机柜。

剂量联锁

为保障 STCF-BTP 工作人员的辐射安全，STCF-BTP 辐射监测系统设计了剂量报警阈值并与人身安全联锁系统联锁。

预警（橙色预警）：当中子探测器或者伽马探测器检测到高剂量率，剂量率高于设置的预警阈值（中子+ γ 总阈值设置为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ），系统主机进行声光报警，通过数据传输给服务器，系统给出警告报警。此档报警不会切断加速器的运行。

瞬时剂量率报警（红色报警）：当中子探测器或者伽马探测器检测到高剂量率，剂量率高于瞬时剂量率报警阈值（中子+ γ 总阈值设置为 $25\mu\text{Sv/h}$ ），报警时间持续 15s，主机触发报警信号输出人身安全联锁系统。

累积剂量报警：每 4 个小时进行累积剂量计算，当累计剂量大于预设的报警阈值，主机触发报警信号输出。主机触发报警信号输出人身安全联锁系统。

剂量联锁逻辑图见图 4.3-8。

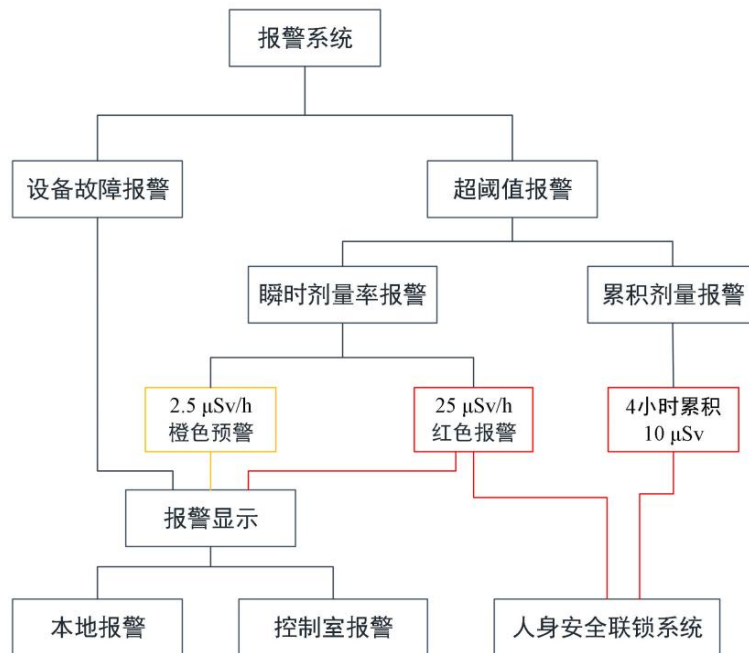


图 4.3-8 剂量联锁逻辑图

探测器的选择

在探测器设备选择方面，选择伽马探头和中子探头与主机分离的方式。伽马和中子的探测应当选择国内和国际上成熟的探测器，具备高灵敏度、运行稳定、易于维护等优点。探测器主机选择成熟的二次仪表，负责原始数据采集、预处理、自动上传等功能，提供 RS485、I/O、RJ45、Wifi、USB Host 等通讯接口。探测器主机接入 STCF-BTP 光源的设备网络。

本项目场所固定监测点的 γ 探测器选用高压电离室，其稳定性高于 G-M 计数管，且球形的高压电离室的角响应和能量响应都优于 G-M 计数管；中子探测器选用包有慢化体正比计数管，能对入射的脉冲中子进行慢化，使中子脉冲宽度展宽。

2) 离线累积剂量监测

场所累积剂量监测采用被动式剂量计进行测量。使用光致发光 OSL

剂量计进行场所离线累积剂量测量。将 OSL 剂量计放入透明自封袋后放置在需要进行累积剂量监测的位置，进行被动式连续剂量测量。

3) 便携式剂量率巡测

在维护人员进入加速器测试大厅内进行设备检修和系统维护前，辐射安全人员需要对该场所内的辐射剂量率进行测量，以保障进入该场所的人员的人身安全。在此情况下，辐射安全人员采用便携式辐射巡测仪对场所内各个位置进行实时剂量率检测。对于控制区内剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的区域，操作时间不作限制；剂量率在 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 至 $100\mu\text{Sv/h}$ 的区域，根据现场剂量率实测值确定操作时间；剂量率大于 $100\mu\text{Sv/h}$ 的区域，经过辐射安全管理部门审批，采取严格的防护措施（如使用局部屏蔽、佩戴个人防护用品等），方可在该区域操作，否则不允许操作。后续将根据装置实际运行情况进行调整优化。

对于监督区域，使用便携式仪表定期进行伽玛和中子剂量率水平的巡测，在巡测时，对各关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点监测，包括控制区的四面墙体、门、管线洞口等。若监测数据发现异常，立即限制辐射工作，对监测异常区域进行临时管控，及时查找原因，维修妥善解决并经检测符合标准要求后方可继续开展辐射工作。

本项目拟配备 1 台便携式 X、 γ 射线和 1 台便携式中子辐射巡测仪。

4) 表面污染监测

高能电子加速器运行会使空气和器件表面的灰尘活化，特别是经过长期运行之后，加速器隧道内的灰尘活化会增加维修人员的内照射风险。按辐射防护 ALARA 原则，在束损较大的场所维修作业前，有必要进行表面放射性污染检测。

本项目拟配备便携式表面污染监测设备、防护工具等设施 and 用具。

4.3.2.3 个人剂量监测

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每3个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。

本项目拟配备1台便携式表面污染检测设备以及防护工具等用具，将对进入加速器隧道内的维修工作人员进行表面污染检测。

4.3.2.4 环境监测

本项目电子直线加速器属于高能电子加速器，除产生瞬发辐射外，初始和次级粒子还可能使加速器测试大厅内的束流管等设备，以及冷却水、空气等发生活化，这些放射性废物的流出可能对周围环境产生辐射影响。

环境辐射水平监测包括 γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率监测，为实时剂量率连续监测。HALF园区辐射环境监测点共设4个（主体工程3个、配套工程1个），分布于园区的边界。同时，上述辐射环境监测点的监测数据将会接入到辐射监测系统中，并设置阈值报警功能。园区辐射环境监测点设置如图4.3-9所示。

环境介质监测项目包括地表水、土壤中感生放射性核素、 γ 能谱分析。

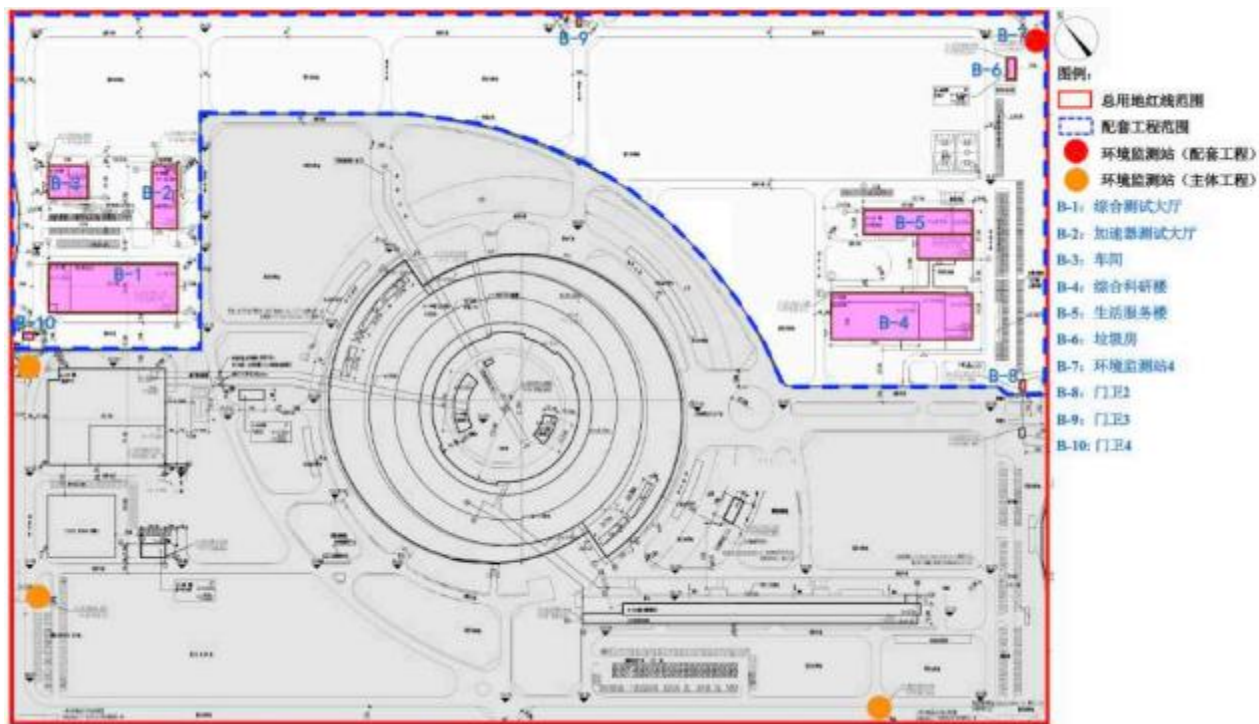


图 4.3-9 HALF 园区环境辐射剂量监测点分布图

4.3.2.5 流出物监测

本项目电子直线加速器属于高能电子加速器，除产生瞬发辐射外，初始和次级粒子还可能使加速器隧道里的束流管等设备，以及冷却水、空气等发生活化，这些放射性废物的流出可能对周围环境产生辐射影响。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应用中高能电子加速器的监测对象包括外照射、循环冷却水、固体废物等。

1) 活化冷却水

本项目可能产生的放射性废液主要来自活化冷却水。冷却水为去离子水，去离子水在运行期间循环使用不排放。如果由于设备维修等原因需要向外排放时，在排放前必须进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准经审管部门批准后，才能排放。

去离子水在使用过程中，可能形成的放射性核素的半衰期多数都很

短，放置一段时间就基本可以衰变。装置水冷系统排出的活化冷却水妥善收集并暂存于集水坑和暂存池中，排放前取样监测，达标后方可排放。因此，本项目在正常运行时，活化冷却水对环境的影响很小，可以忽略。

2) 活化固体废物

本项目可能产生的活化固体废物主要有：①活化部件。加速器运行到一定阶段，一些部件由于质量下降或损坏被更换下来，这些部件往往具有一定的感生放射性。②其他废物。这类废物主要包括去污用过的防护服、手套、棉纱等。

HALF园区设有一个面积44m³、容积120m³的放射性固体废物暂存间，位于技术安全楼一层，用于暂存活化部件等放射性固体废物。本项目换下来的活化部件根据其污染水平，分类存放于该放射性固体废物暂存间中。暂存一定时间后，满足解控要求的经审管部门同意后按一般废物处理，不满足清洁解控要求的作为放射性废物统一处理。

4.3.2.6 监测设备数量及技术参数

根据前文所述，本项目共设6套固定式中子和 γ 探测器，每套含1个中子探测器和1个 γ 探测器。

辐射监测系统主要参数和指标如下表4.3-4所示。

表 4.3-4 辐射监测系统主要参数和指标

系统名称	建设内容	指标要求
辐射监测系统	1) 辐射探测器 2) 监测系统软件	1) 能量范围：50 keV~3 MeV（伽马），0.025 eV~14 MeV（中子）； 2) 有效量程：10nSv/h~10mSv/h（场所中子），100nGy/h~100mGy/h（场所伽马），10nSv/h~10mSv/h

		（环境中子），10nGy/h~100mGy/h（环境伽马）； 3）监测系统采样频率：≥1Hz（可调）； 4）剂量联锁响应时间：≤1s
--	--	--

4.3.3通风系统

加速器装置测试大厅已建设了通风系统，通风系统设计参数列于表4.3-5。本项目依托已建的通风系统运行。

平时正常运行时，为防止测试大厅内的有害气体泄漏到周围工作场所中，需维持低风量排风状态，使隧道内保持微负压，平时换气次数为0.6次/h；当停机后工作人员需要进入该区域或发生紧急情况时，则开启强排风，强排风的换气次数为8次/h。

加速器装置测试大厅设有通风延迟系统，通风延迟时间暂定至少10分钟，运行期间根据实际测定情况进行调整。测试隧道屋顶设一个排风管引出口，排风管经测试区屋面引至速调管屋面汇总，在速调管屋面共有2个排风口，1个排风口用于测试大厅平时排风，另1个用于测试大厅强排风，排风口高度高于本建筑屋面5m，详见图4.3-10。通风管道采用“S”形穿墙方式，示意图见图4.3-11。

表 4.3-5 加速器测试大厅通风系统设计参数表

区域	建筑面积, m ²	层高, m	排风量, m ³ /h	换气次数, 次/h
加速器测试大厅	337	8.8	平时: 1800 强排: 24000	平时: 0.6 强排: 8



图 4.3-10 加速器测试大厅排风口位置示意图



图 4.3-11 通风管道穿墙示意图

4.3.4 电离辐射警告标志设置

本项目辐射工作场所控制区的进出口已设置了电离辐射警告标志；在监督区的入口处的适当位置设置了表明监督区的标牌。

4.3.5 辐射安全与防护设施小结

参照生态环境部非医用中高能加速器监督检查技术程序，STCF-BTP 的辐射安全与防护设施情况如下表 4.3-6 所示。

STCF-BTP 项目不改变加速器测试大厅现有辐射工作场所分区，在依托合肥先进光源配套工程项目已建的安全联锁系统及监测系统硬件设施基础上，将 STCF-BTP 设备接入至现有安全联锁系统中，对控制逻辑进行

升级及测试验证。在加速器装置测试大厅西侧墙外和中控室内新增 2 处固定式辐射监测探头，并接入监测系统中。

从下表可知，STCF-BTP 项目拟采取的辐射安全场所设施齐备、安全联锁系统、监测系统等设施符合相关要求，可满足项目需求。

表 4.3-6 STCF-BTP 项目安全与防护情况

序号	项目		是否符合	备注
1	A 场所设施	电离辐射警示标志		√ 控制区出入口处设置明显的电离辐射警告标志。
2		声光报警装置		√ 共设有 3 个声光报警装置，在北大门外、北迷路出口外及控制室内各设有 1 个声光报警装置。
3		计算机记录系统		√ 设有计算机记录系统，安全联锁系统通过联锁控制器 PLC 来处理和交换信号，并通过分布在控制区内的现场设备来采集信号和执行动作，同时在计算机上记录相关信息。
4		视频监控系统		√ 在加速器测试大厅设视频监控系统。
5		紧急出口指示		√ 在控制区门口设有紧急出口指示。
6		门内紧急开门按钮		√ 在南、北迷宫出口内各设 1 个门内紧急开门按钮。
7		对讲机或电话通讯设备		√ 配备有对讲机。
8		出束前确认开关		√ 控制室内有出束前确认开关。
9	B 安全联锁	加速器工作状态显示		√ 屏蔽门外设有加速器工作状态指示灯。
10		身份控制	开门钥匙开关 门禁系统刷卡出入	√ 设有门禁系统

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		系统	读卡记录进入人员编 码、总数		
11			防跟随措施	√	不涉及
12			清场巡查系统	√	巡查按钮和登记按钮分布于加速器测试 大厅中，设有清场路线。
13			人员离开确认装置	√	通过清场搜索、门禁系统确认人员离开。
14			门与束流联锁	√	屏蔽门均为联锁门。
15			联锁设计为至少双重联 锁	√	联锁为冗余设计。
16			通风延迟开门联锁	/	加速器测试大厅有通风延迟开门联锁。
17			人员总数清零与出束联锁	√	门禁系统记录进入控制区的人数，当人员 总数清零后方可出束。
18			联锁触动停机后须人工 复位才能重启加速器	√	联锁触动停机后须人工复位才能重启加 速器。
19			有足够数量的紧急停机 按钮	√	加速器测试大厅控制区内设有 9 个紧急停 机按钮，控制室内设有 1 个紧急停机按钮。
20	C 监测 设备		个人剂量报警仪	√	配有个人剂量报警仪。
21			固定式辐射剂量监测系统	√	设有 6 个固定式辐射剂量监测点。
22			个人剂量计	√	为所有辐射工作人员配备个人剂量计。
23			便携式 γ 和中子剂量测量 仪	√	拟配备 1 台便携式 γ 和 1 台中子剂量测 量仪。
24			便携式表面沾污仪	√	拟配备 1 台便携式表面沾污仪
25			气溶胶监测仪或装置	/	不涉及
26	D 感生 放射性		强活化部件表面标有电 离辐射警告标志	√	强活化部件表面标有电离辐射警告标志
27			更换下来的强活化部件 有专设的存放地点及相	√	更换下来的强活化部件暂存于技术安全 楼的放射性固废暂存间。

		应标志		
28		加速器大厅部件活化较高剂量率区的电离辐射标志及提示	√	加速器测试大厅部件活化较高剂量率区设有放射性警示标志。
29	E 冷却水	冷却水排放存储池	√	加速器测试大厅西侧地下设有专用于暂存活化冷却水的暂存池。
30		用过的去离子树脂专设存放地点	√	冷却水系统不需使用去离子树脂进行净化。
31	F 通风	控制区通风系统	√	控制区设有通风系统。
32		停机后，控制区通风		停机后，控制区强制通风。
33	G 其它	个人防护用品	√	配备个人防护用品。
34		应急物资	√	配备应急物资。

4.4 三废治理

4.4.1 放射性污染防治

（一）放射性废气及处理措施

根据第三章的分析可知，STCF-BTP 项目运行期间所产生的放射性气体的主要核素为 ^{11}C （半衰期 20.39min）、 ^{13}N （半衰期 9.965min）、 ^{15}O （半衰期 2.037min）和 ^{41}Ar （半衰期 1.8h）。根据第三章的计算结果可以看出，加速器测试大厅空气活化程度比较轻微，停机强排风 10min 后，排放的主要核素为 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 其动态饱和浓度均低于对应的导出剂量限值。

本项目依托加速器装置测试大厅已设置的排风系统，将 STCF-BTP 装置运行过程中可能产生的感生放射性气体经排风管引至速调管走廊上方屋面排放。考虑到废气中感生放射性核素的半衰期很短，且排入大气后经过扩散和稀释，其对环境的影响是可以接受的。

（二）放射性固体废物及其处理措施

STCF-BTP项目产生的放射性固体废物主要为装置的活化束流管、废弃的废束桶等，由前述3.3.3.3节分析可知，本项目产生的放射性固体废物的活化水平不高，属于低放废物。

STCF-BTP项目运行产生的活化固体废物的暂存，依托HALF主体工程建设的位于技术安全楼一层的放射性固体废物暂存间，见图4.4-1。技术安全楼位置见图4.4-2。

放射性固废从加速器测试大厅控制区转运到放射性固体废物暂存间过程中的具体管理措施如下：

①对于拟拆除部件，首先在辐射防护组工作人员监督下，进行表面剂量率测量，当低于 $100\mu\text{Sv/h}$ 时，允许维修工作人员对其进行拆除，拆除期间均由辐射防护组工作人员全程陪同，以防具有感生放射性的部件遗失；

②对于已拆除部件，进行测量并进行相关信息登记：拆除部件名称、数量、拆除时间、剂量率测量值、拆除人员等，并放入事先准备好的放射性废物屏蔽容器内，容器表面标记放射性固废相应信息；

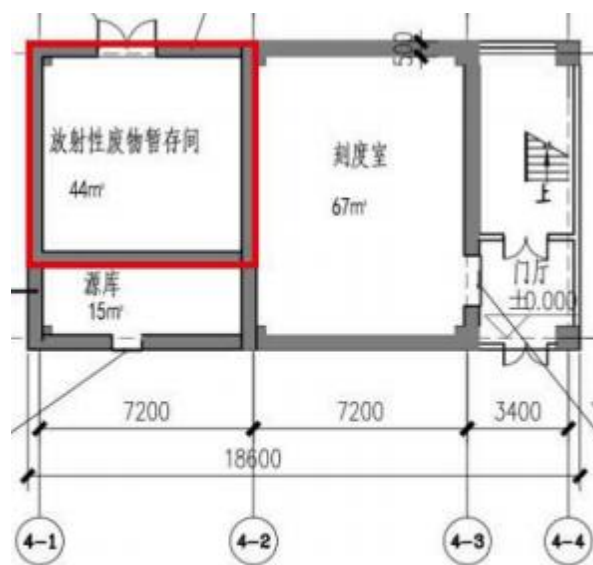
③在辐射防护组工作人员监督下，运至园区技术安全楼放射性废物暂存间内，并进行入库登记，将此次放废按照剂量率不同等级归置于相应区域。

根据已获批复的《合肥先进光源项目环境影响报告书》，预计HALF正常运行后五年需拆除的加速管总量为：8根4.5m段，16根2.5m段，可能产生的活化固体废物总量约206kg。此外，HALF配套工程项目中包含的120Mev电子直线加速器将不再实施，仅保留加速器测试大厅内的加速管老炼平台，加速管老炼过程不产生放射性固体废物。本项目预计新增

放射性固废总量约100kg。

HALF主体过程建设的放射性固体废物暂存间面积44m³、容积120m³，足够暂存主体工程及STCF-BTP项目运行期间产生的放射性固体废物。其辐射防护设计方案如下：四周墙体50cm普通混凝土，顶板50cm普通混凝土，防护门0.5cm不锈钢+5cm铸铁+0.5cm不锈钢。STCF-BTP项目产生的感生放射性很小，经过暂存间墙体、顶板及门的屏蔽作用和距离衰减作用，可以推知固废间墙体外周围30cm处剂量率将远低于2.5μSv/h，存放在放射性固体废物暂存间内的活化固体废物对周围环境的辐射影响较小。

环评要求：项目建设单位应按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）相关要求，产生的放射性固体废物经分类收集、包装后，装入带有分类标记的专用口袋或容器，送入放射性固体废物暂存间暂存。放射性固体废物暂存量超过暂存间50%容积后应及时送交城市放射性固废处置中心或其他有资质单位处理。需对每次活化固体废物的处理情况进行记录并存档，具体记录内容包括每次处理的固体废物名称种类、废物量、剂量率监测结果以及最终去向等。



图例:

放射性固体废物暂存间

图 4.4-1 放射性固体废物暂存间位置示意图

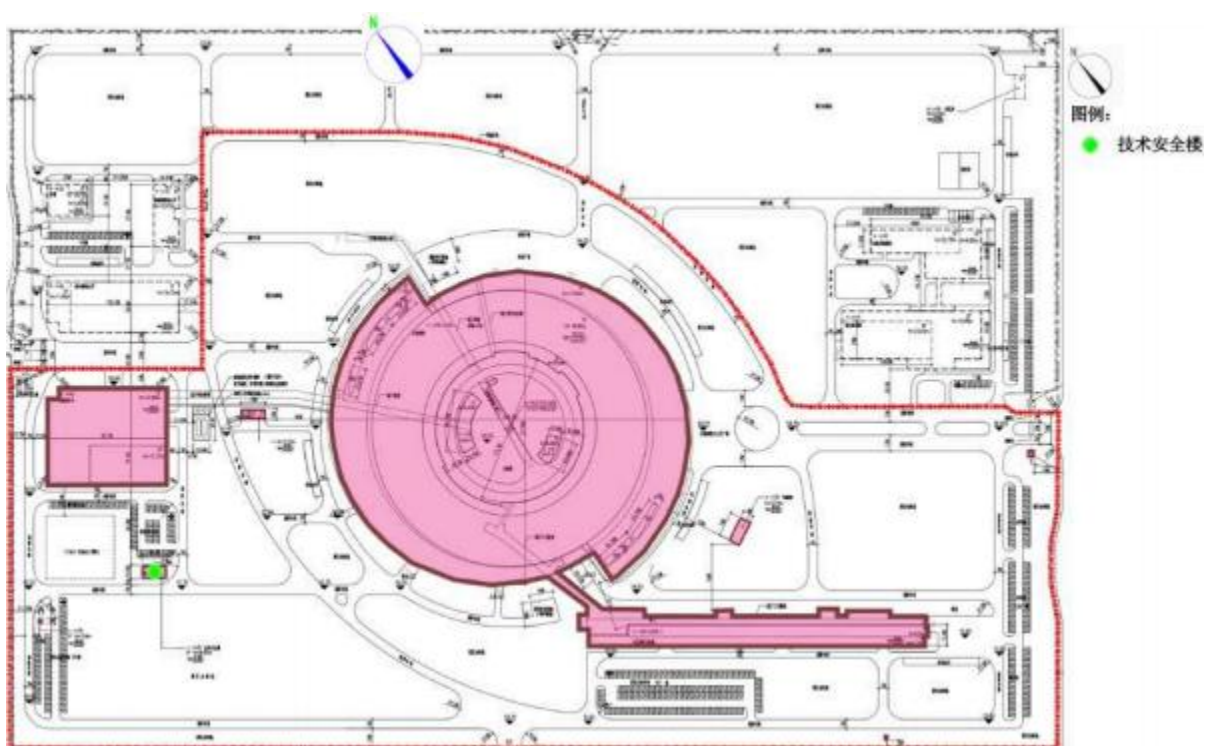


图 4.4-2 技术安全楼位置示意图（绿色圆点区域）

4.4.2 非放射性污染防治

①废气：主要为加速器装置测试大厅内空气经辐照产生的臭氧及氮氧化物。根据前述3.3.4节计算，运行时臭氧及氮氧化物（以 NO_2 计算）的饱和浓度分别为 $4.99\text{E-}02$ 和 $2.23\text{E-}02\text{mg/m}^3$ ，停机强排风 10min 后浓度分别为 $1.17\text{E-}02$ 和 $5.21\text{E-}03\text{mg/m}^3$ ，废气将通过通风系统从屋顶排入外环境，对周围环境的影响非常小。

②废水：本项目运行过程中会产生少量生活污水，收集后经化粪池处理后排入市政污水管网。本项目依托合肥先进光源配套工程已建的化粪池和污水管网。

③固废：本项目产生少量的一般固体废物，年产生量预计约 50kg/a ，主要为废零部件、包装材料、真空清洗安装和线缆安装所产生的废物，经集中收集后，由当地物资公司回收利用。生活垃圾分类收集后由环卫部门统一清运。

4.5 服务期满后的环境保护措施

本装置终止运行后可能产生放射性污染，因搬迁等原因不再使用时，应编制相应的退役方案、制定退役目标，确保放射性废物得到安全、妥善处理，并按照相关法规规定完善退役环保手续。

5 环境影响分析

5.1 建设阶段环境影响分析

本次评价项目建设阶段不涉及土石方开挖等基础工程及现浇钢砼柱主体工程的建设，建设阶段仅包括STCF-BTP物理线的设备安装、补充的2处固定式监测设备的安装及联锁控制逻辑系统的调试等。设备均为外购，现场组装，因此，本次评价不再进行建设阶段环境影响分析与预测。

5.2 运行阶段环境影响分析

5.2.1 辐射源项

根据前文对束流损失情况的描述，在对加速器装置测试大厅进行屏蔽计算时，分别考虑电子束线和正电子束线。

（1）电子束线

表 5.2-1 STCF-BTP 项目物理（负电子）给辐射防护接口参数

束流种类	参数	损失情况
电子束线	尺寸	32.4m
	最大束流能量	100 MeV
	最大脉冲电荷量	8 nC
	脉冲宽度（rms）	<5 ps
	最高重复频率	最大为 50 Hz（8 nC 时为 0.2 Hz）
	最大电荷量损失或电荷损失率@电荷量	正电子线末端不锈钢法兰，100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ （点损）； 正电子线末端偏转后法拉第筒，100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ （点损）； 能谱靶束线末端废束桶处 D 处，100MeV，8nC，0.2Hz，e ⁻ （点损）； 丢束于短束团束线末端废束桶处 C 处，30MeV，3nC，20Hz，e ⁻ （点损）。

（2）正电子束线：

表 5.2-2 STCF-BTP 项目物理（正电子）给辐射防护接口参数

束流种类	参数	损失情况
正电子束线	尺寸	18.6 m
	最大束流能量	100 MeV
	最大脉冲电荷量	5 nC e ⁻ ; 1.6 nC e ⁺
	脉冲宽度 (rms)	5 ps e ⁻ ; 60 ps e ⁺
	最高重复频率	最大为 50 Hz (5 nC 时为 1 Hz)
	最大电荷量损失或电荷损失率@电荷量	打靶（靶为天然钨，纯度 100%）处，100 MeV，5 nC，1 Hz 电子束损失 1.8nC（点损）； 磁号后 e ⁻ 和 e ⁺ 都损失 100 MeV，1.2 nC，1 Hz（线损）； 传输过程中 e ⁺ 从 100 MeV，0.4 nC，1 Hz 衰减到 182 pC（线损），e ⁻ 从 100 MeV，3.6 nC，1 Hz 衰减到 0.44 nC（线损）； 束线末端法兰 100 MeV，0.44 nC，1 Hz，e ⁻ （点损）； 法拉第筒 100 MeV，0.18 nC，1 Hz，e ⁺ （点损）。

STCF-BTP 电子束在电子枪产生，经预聚束器、加速管加速到最高能量 100MeV，大电荷量时重复频率为 1Hz，共有五种工作模式。

本次评价模拟计算时考虑的辐射源项如下表所列：

表 5.2-3 STCF-BTP 项目计算时各个工作模式对应的辐射源项

序号	运行模式	束损点位置描述	束流损失参数
1	调试模式 1	丢束于正电子线末端偏转段法拉第筒	100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ 点损
2	调试模式 2	丢束于正电子线末端法兰处	100MeV，0.5nC，0.2Hz，e ⁻ 点损
3	调试模式 3	丢束于能谱靶束线末端废束桶处 D 处	100MeV，8nC，0.2Hz，e ⁻ 点损

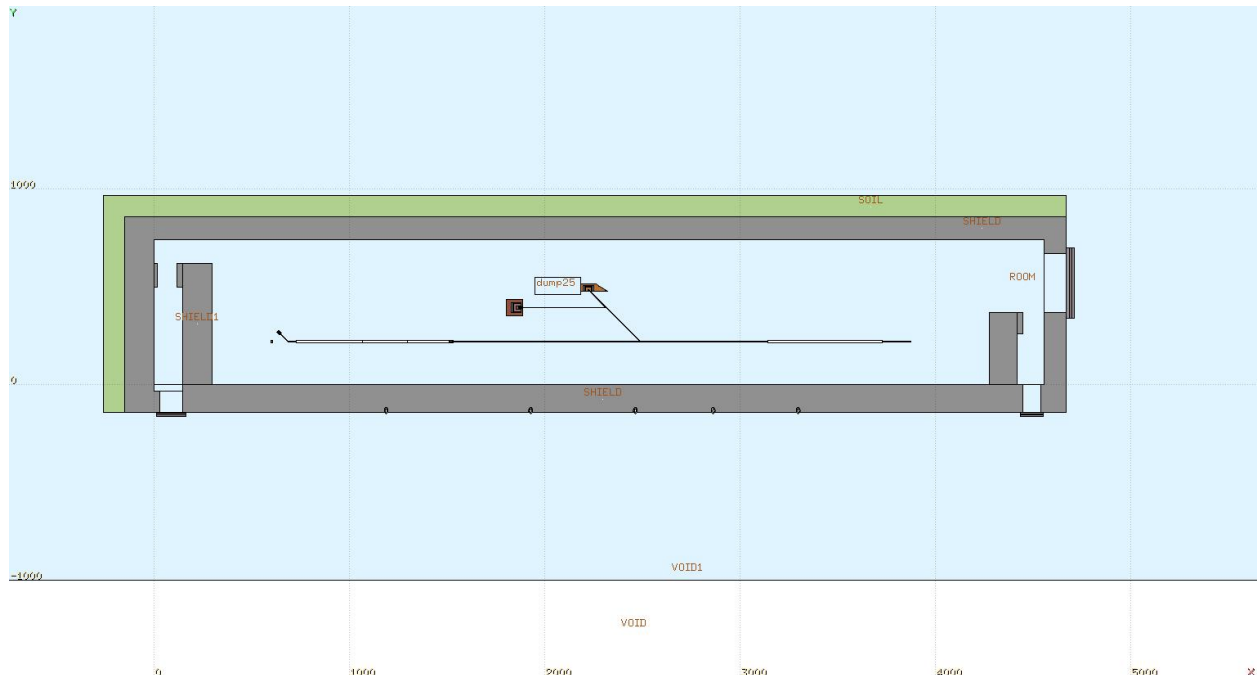
超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

4	运行模式 1	丢束于短束团束线末端 废束桶处 C 处	100MeV, 3nC, 20Hz, e^- 点损, 钛窗距离废束桶 1.5m
5	运行模式 2	正电子段钨靶	100MeV, e^- , 1.8nC, 点损
		正电子段磁号	100MeV, e^+ , 1.2nC, 线损
		正电子段磁号	100MeV, e^- , 1.2nC, 线损
		正电子段加速管	100MeV, e^- , 3.16nC, 线损
		正电子段加速管	100MeV, e^+ , 0.218nC, 线损
		正电子段末端法拉第筒	100MeV, e^+ , 0.18nC, 点损
		正电子段偏转段法兰	100MeV, e^- , 0.44nC, 点损

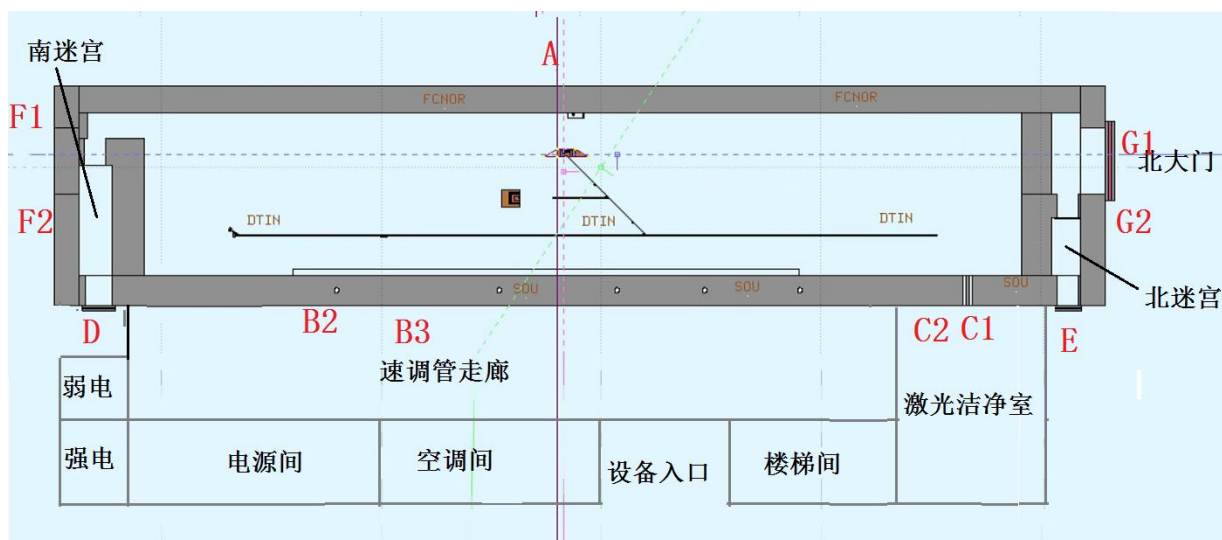
5.2.2 建模仿真预测

5.2.2.1 模拟计算模型

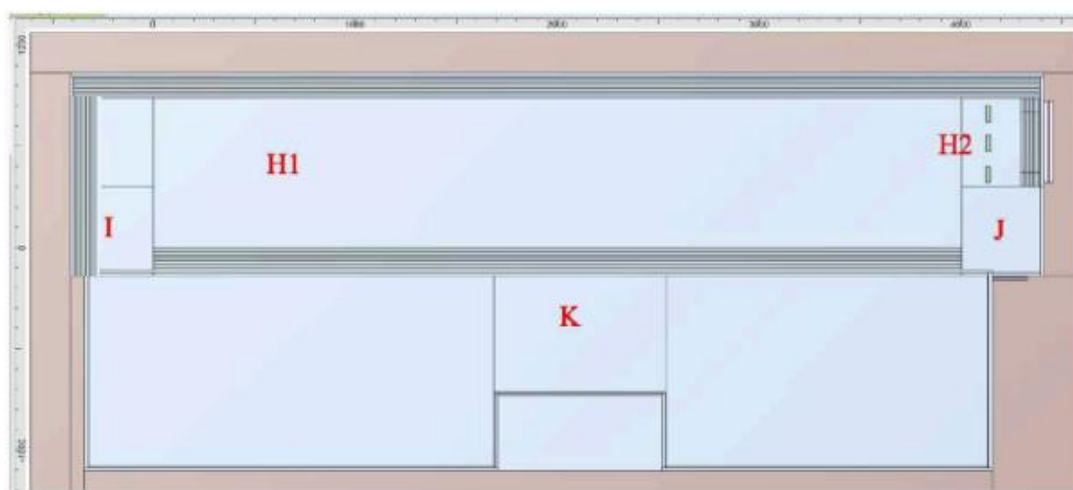
采用 FLUKA 程序，利用三维建模软件 SimpleGeo，对加速器测试大厅建筑结构进行详细建模计算，建模情况如下图所示。束流线距东侧墙（速调管走廊一侧）2.2m，束流平面距地 1.2m（标高 0.1m）。



**图 5.2-2 STCF-BTP 项目加速器测试大厅建筑结构 FLUKA 建模图
（束流线从右向左）**



（一层）



（屋顶）

图 5.2-3 关注点位置示意图

5.2.2.2 FLUKA 模拟计算结果

下面各图给出了 STCF-BTP 项目在几种调试/运行模式下的模拟计算结果，可以看出：各关注点的剂量率均远低于剂量限值，满足防护要求。

其中，调试模式 1 和调试模式 2 下主要丢束于加速器测试大厅南端，从计算结果云图来看，对南迷宫口入口处几乎无影响（白色区域）；

调试 3 模式和运行 1 模式下主要丢束于加速器测试大厅中段偏西，从计算结果云图来看，对东、西侧墙外无影响（白色区域，无计算结果）；

运行 2 模式下主要丢束于加速器测试大厅南端，计算结果云图显示该运行模式下的辐射剂量率最大，但屏蔽体外 30cm 处剂量率均低于 $1\mu\text{Sv/h}$ ，值得关注的点主要为：南侧迷路外墙（F1 点、F2 点），最大剂量率分别为 $0.82\mu\text{Sv/h}$ 、 $0.40\mu\text{Sv/h}$ ；南迷宫墙顶屏蔽外（I 点），最大剂量率为 $0.78\mu\text{Sv/h}$ 。

调试模式 1（丢束于正电子线末端偏转段法拉第筒）：

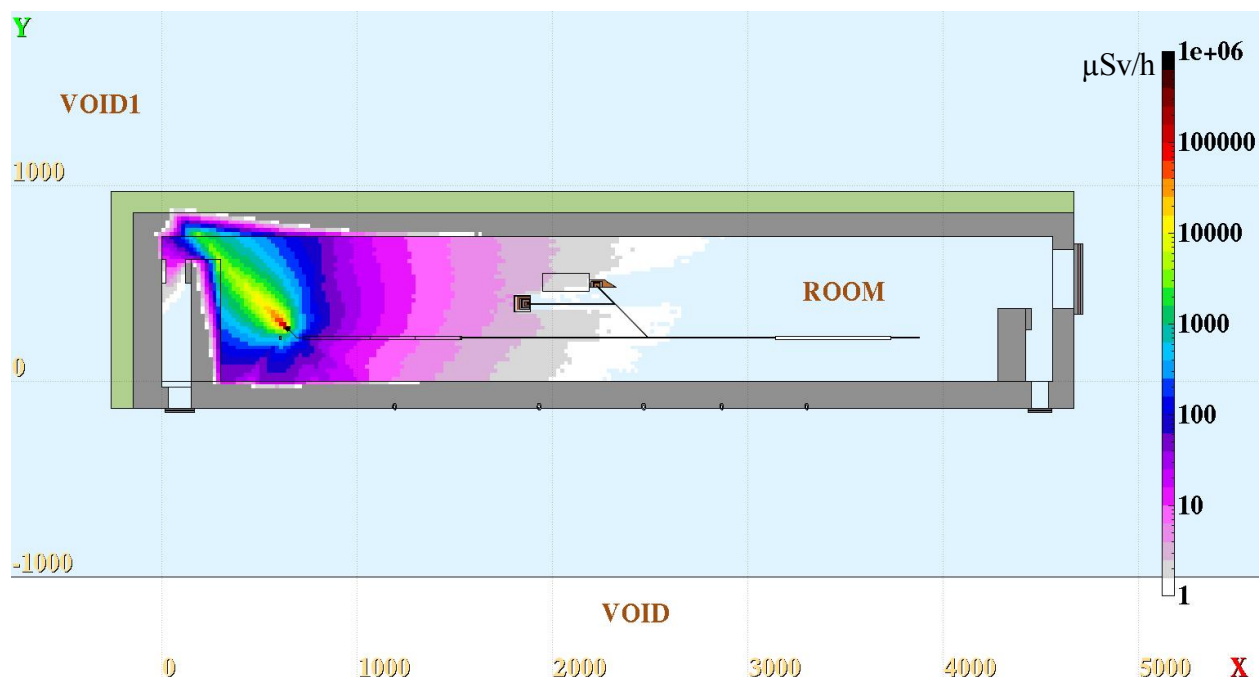


图 5.2-4(a) 调试模式 1 下加速器测试大厅束流平面（标高 0.1m）的剂量率水平分布

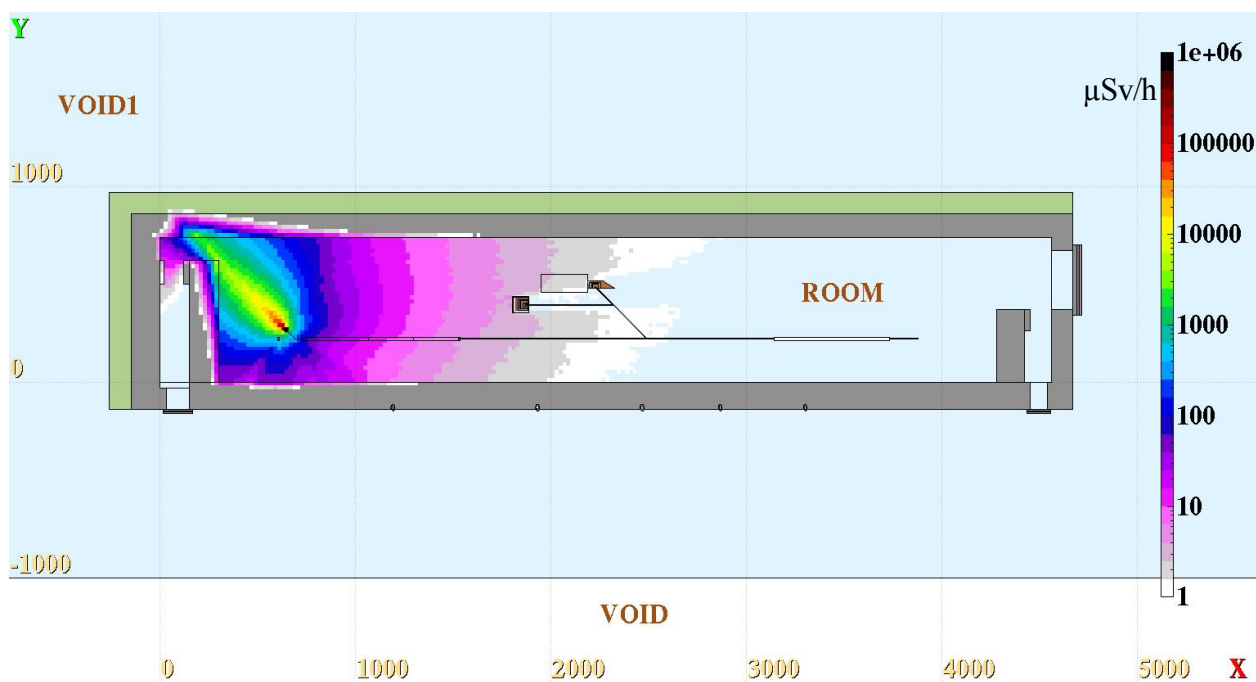


图 5.2-4(b) 调试模式 1 下加速器测试大厅束流平面上下 10cm（标高 0~0.2m）的剂量率水平分布

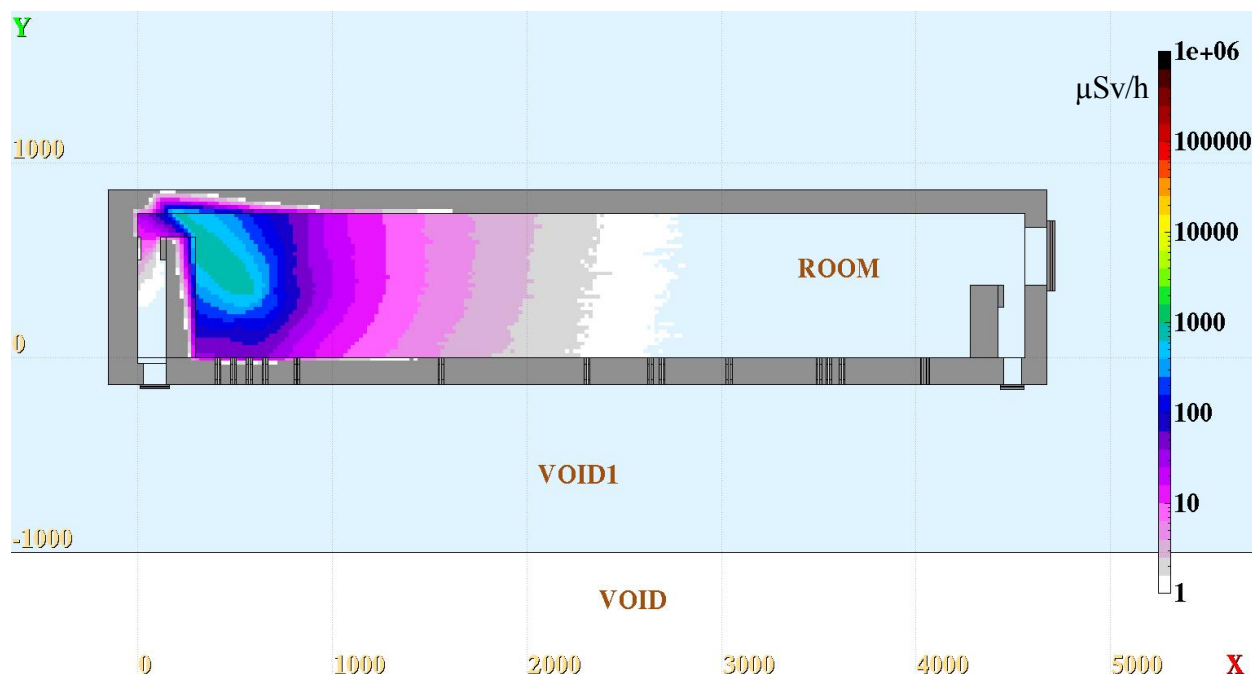


图 5.2-4(c) 调试模式 1 加速器测试大厅过波导/水管孔洞处（标高 1.2~1.4m）的剂量率水平分布

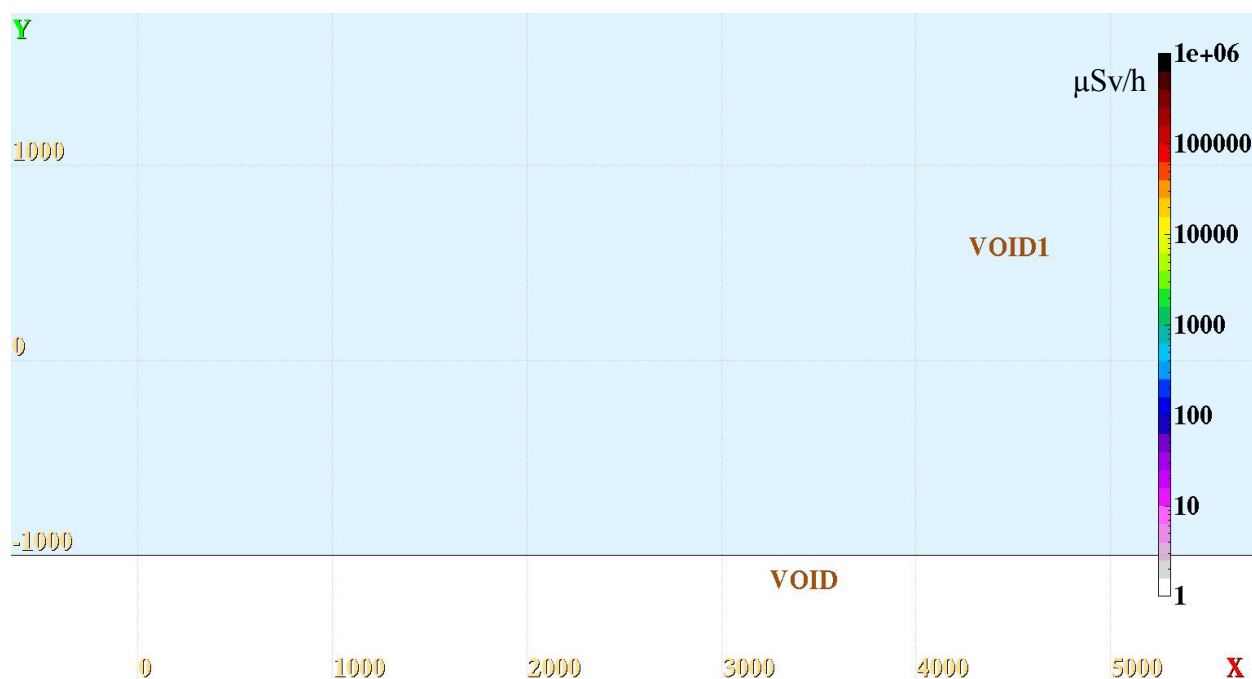


图 5.2-4(d) 调试模式 1 加速器测试大厅顶墙屏蔽外表面 30cm（标高 8.9m）的剂量率水平分布及值得关注的点

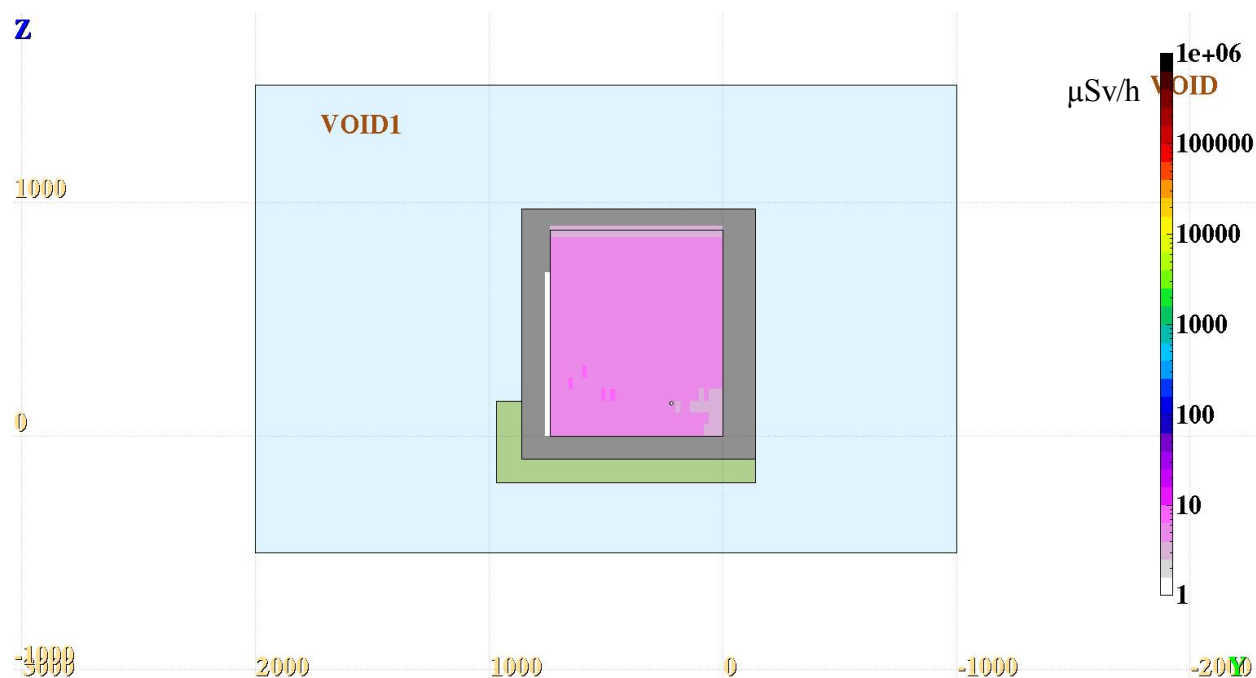


图 5.2-4(e) 调试模式 1 西墙、东墙屏蔽外表面 30cm 内的剂量率竖直分布及关注点

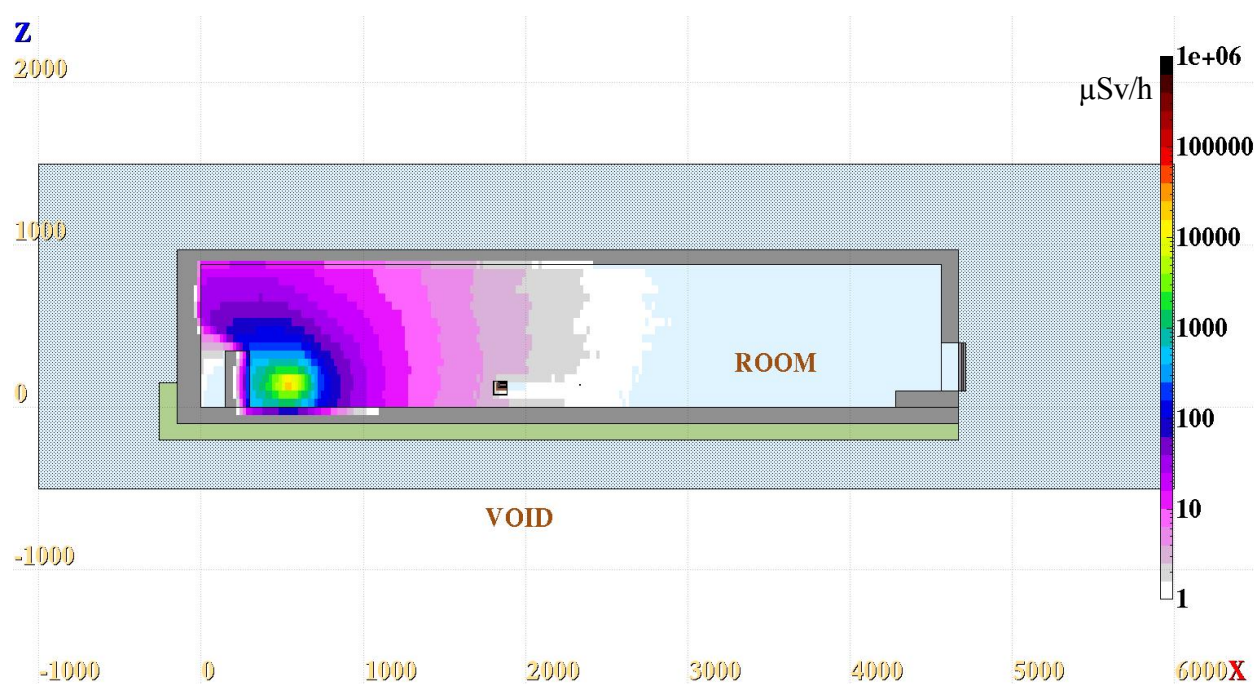


图 5.2-4(f) 调试模式 1 南、北迷宫顶屏蔽的剂量率分布立体图及关注点

调试模式 2（丢束于正电子线末端法兰处）：

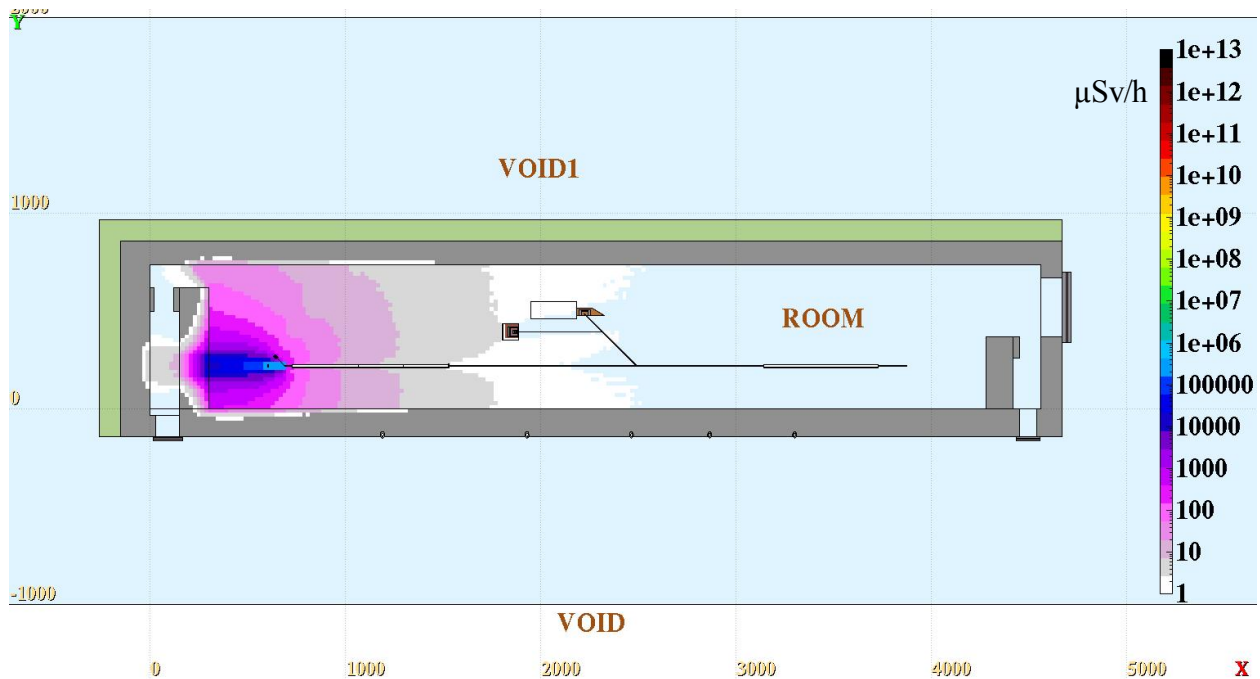


图 5.2-5(a) 调试模式 2 下加速器测试大厅束流平面（标高 0.1m）的剂量率水平分布

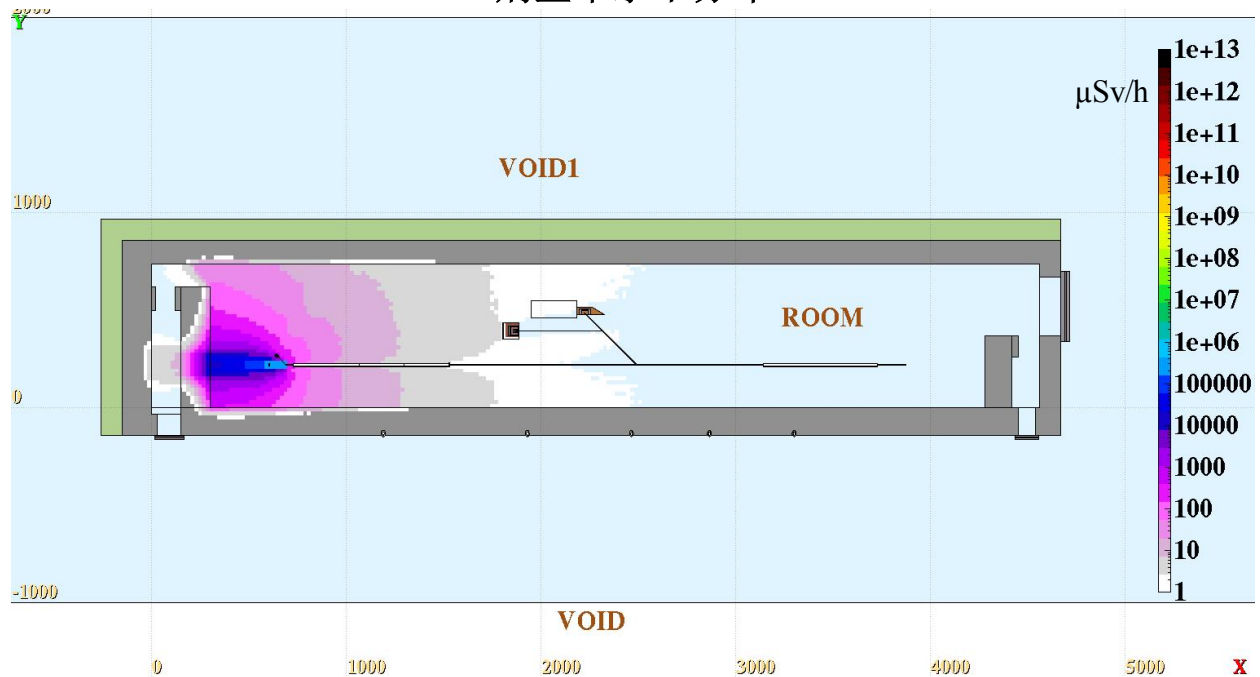


图 5.2-5(b) 调试模式 2 下加速器测试大厅束流平面上下 10cm（标高 0~0.2m）的剂量率水平分布

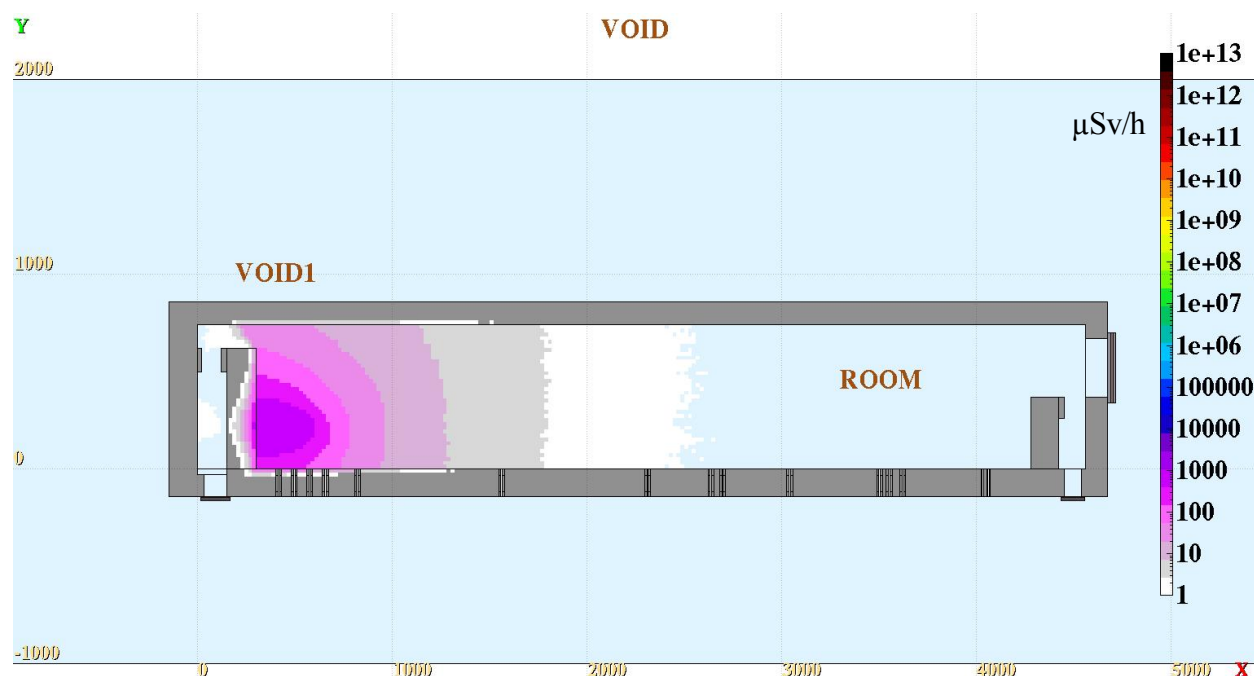


图 5.2-5(c) 调试模式 2 加速器测试大厅过波导/水管孔洞处（标高 1.2~1.4m）的剂量率水平分布

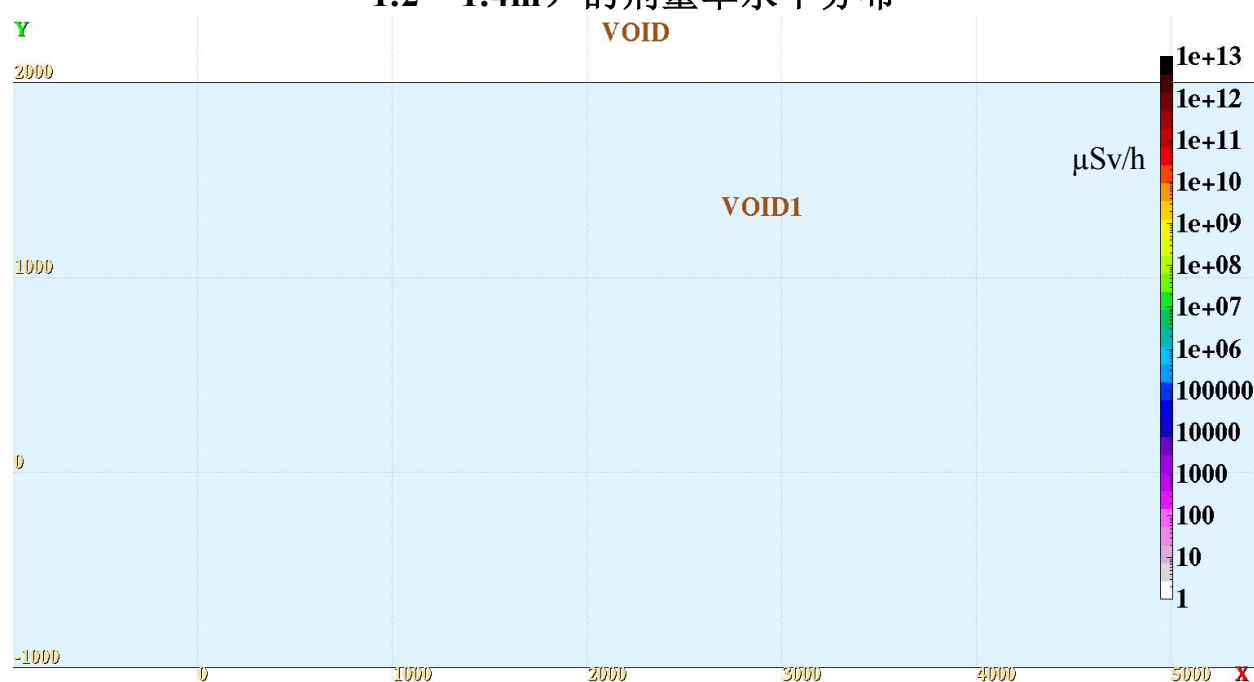


图 5.2-5(d) 调试模式 2 加速器测试大厅顶墙屏蔽外表面 30cm(标高 8.9m) 的剂量率水平分布

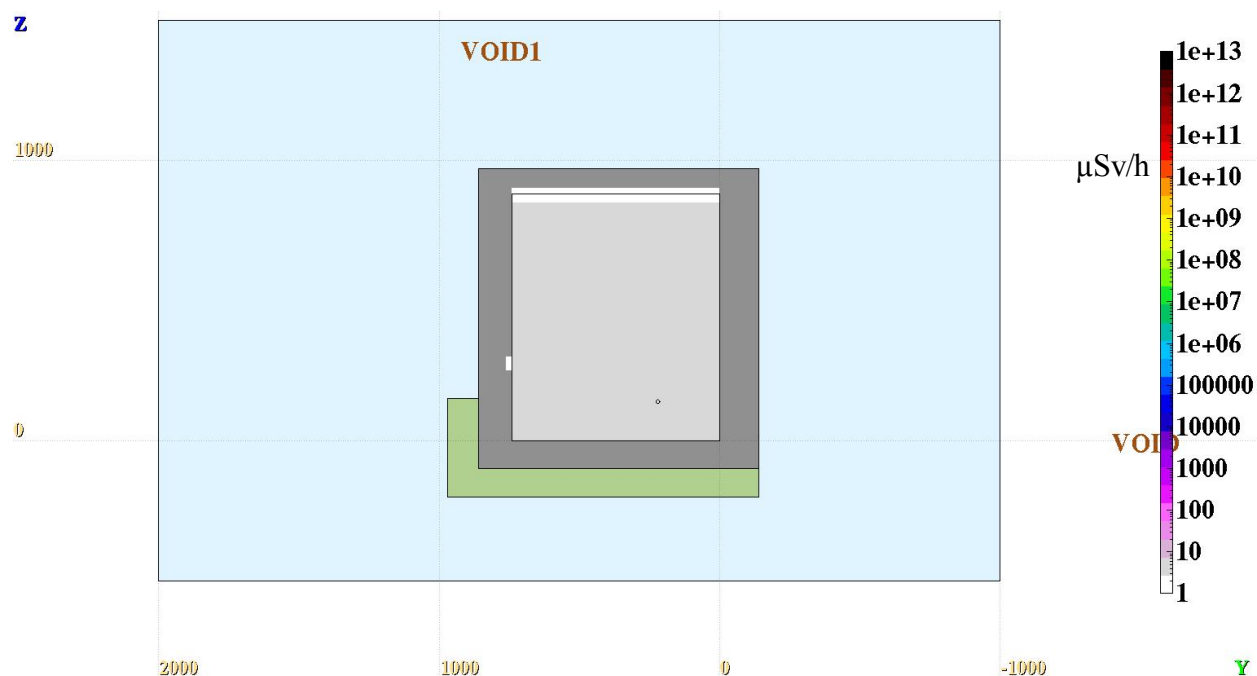


图 5.2-5(e) 调试模式 2 西墙、东墙屏蔽外表面 30cm 内的剂量率竖直分布

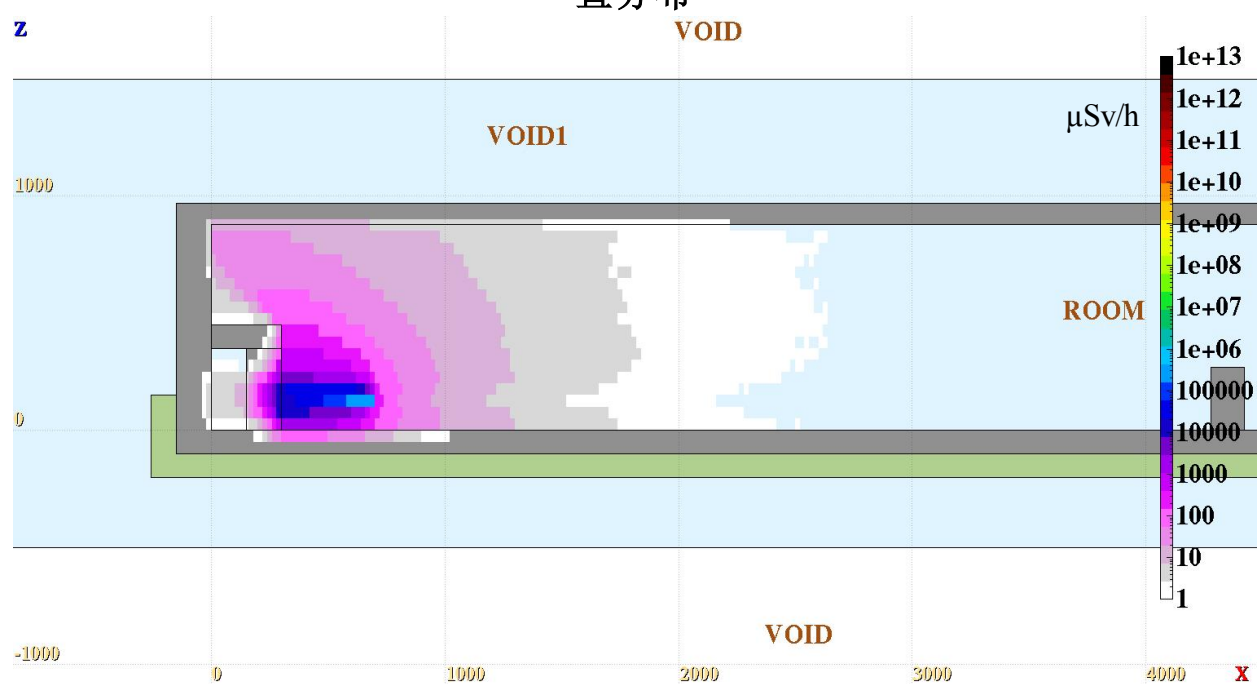


图 5.2-5(f) 调试模式 2 南、北迷宫顶屏蔽的剂量率分布立体图

调试模式 3（丢束于能谱靶束线末端废束桶处）：

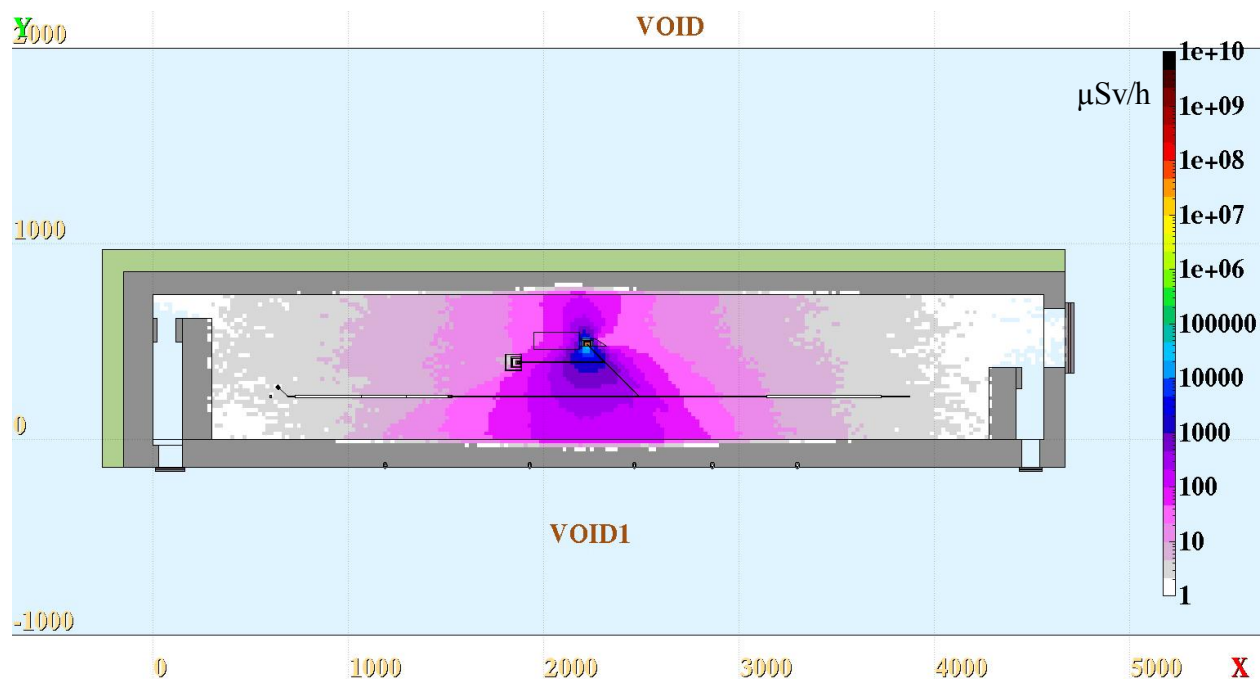


图 5.2-6(a) 调试模式 3 下加速器测试大厅束流平面（标高 0.1m）的剂量率水平分布

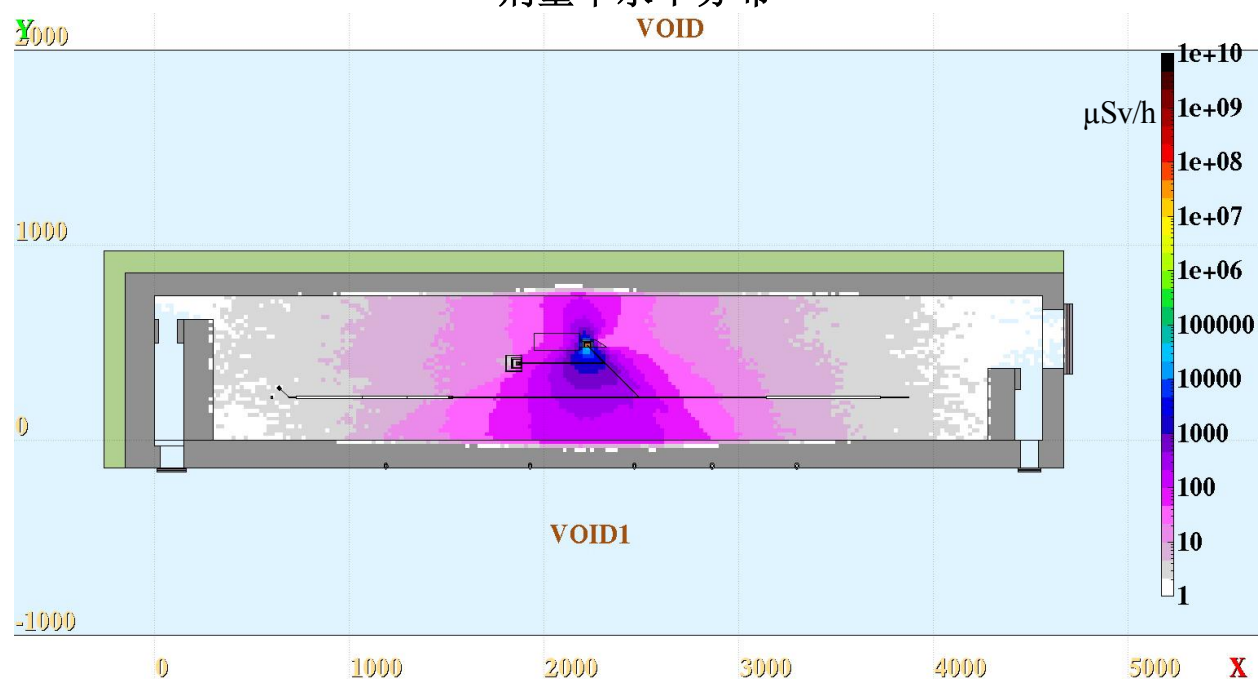


图 5.2-6(b) 调试模式 3 下加速器测试大厅束流平面上下 10cm（标高 0~0.2m）的剂量率水平分布

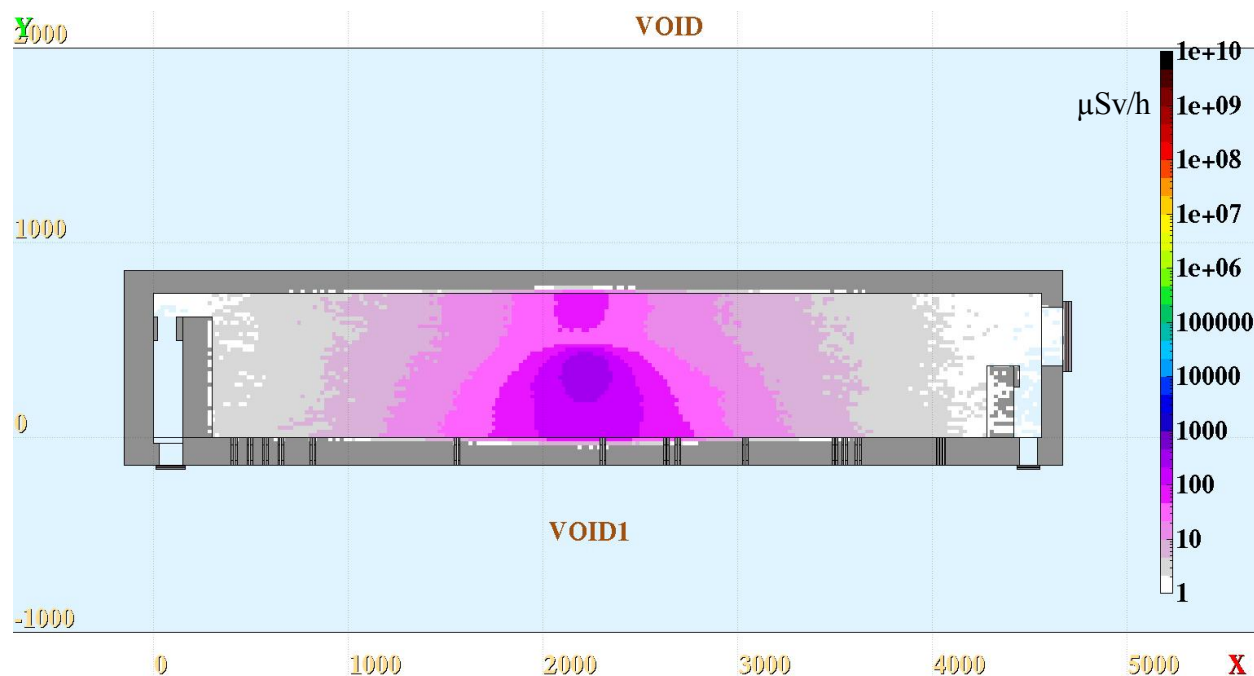


图 5.2-6(c) 调试模式 3 加速器测试大厅过波导/水管孔洞处（标高 1.2~1.4m）的剂量率水平分布及值得关注的点

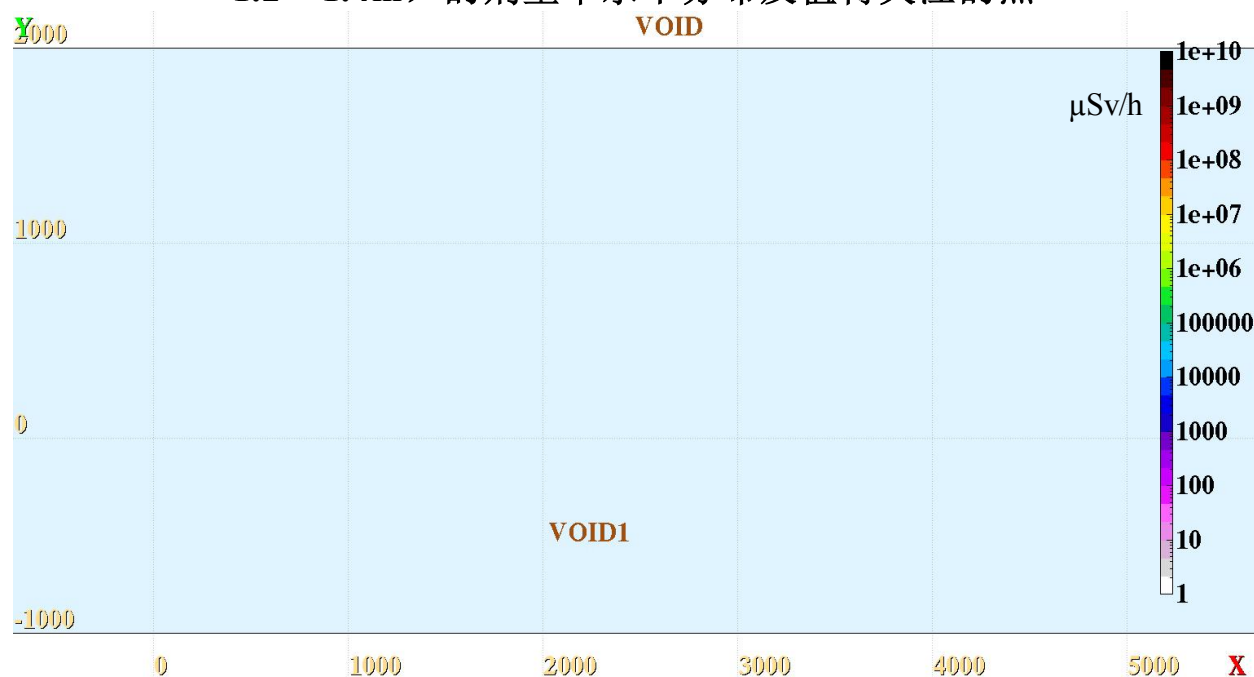


图 5.2-5(d) 调试模式 3 加速器测试大厅顶墙屏蔽外表面 30cm（标高 8.9m）的剂量率水平分布

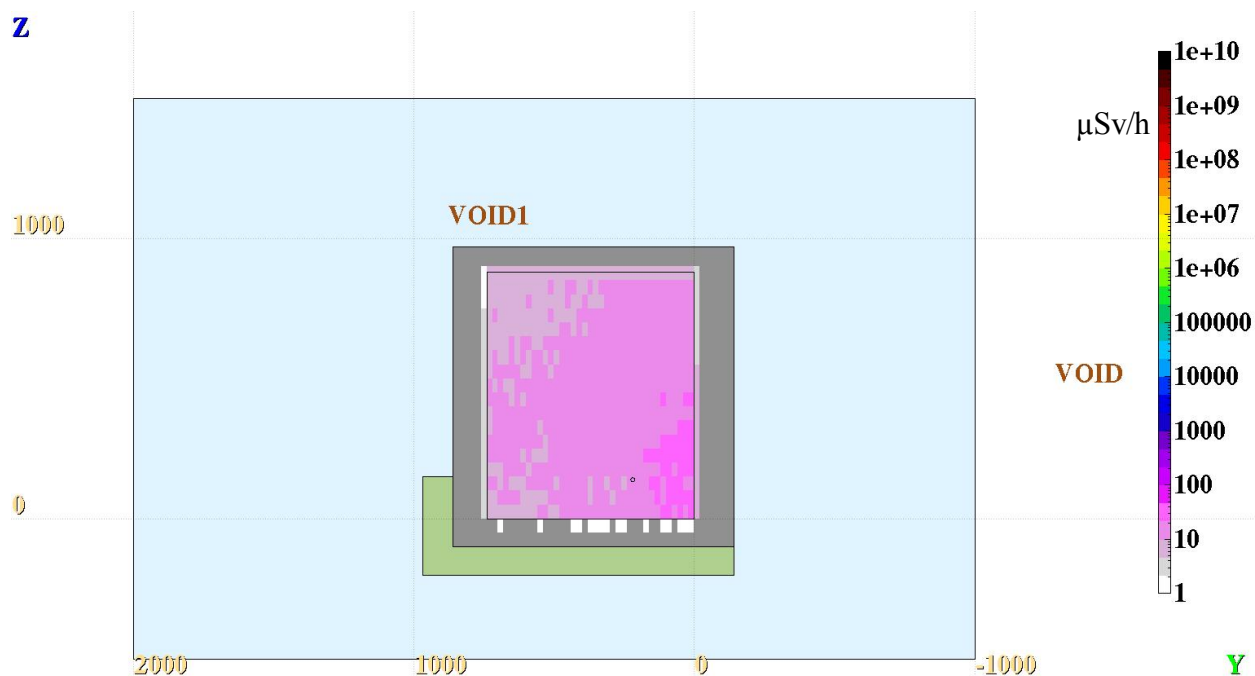


图 5.2-6(e) 调试模式 3 西墙、东墙屏蔽外表面 30cm 内的剂量率竖直分布及关注点

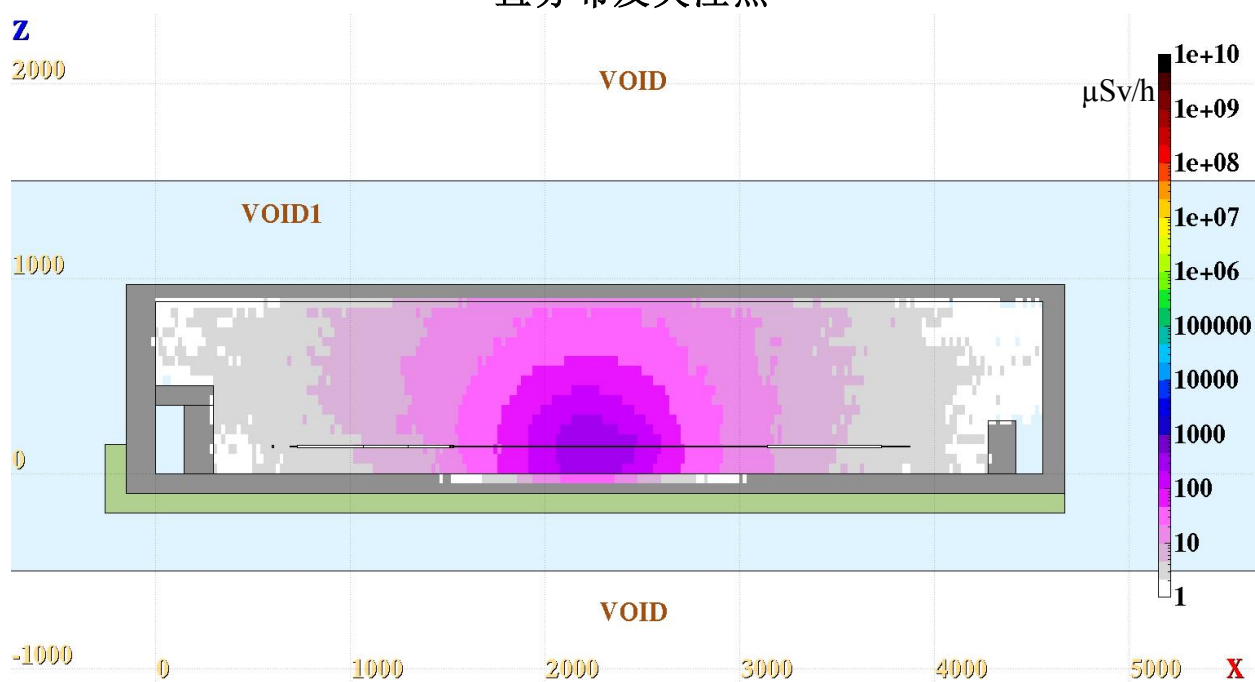


图 5.2-6(f) 调试模式 3 南、北迷宫顶屏蔽的剂量率分布立体图

运行模式 1（丢束于短束团束线末端废束桶处）：

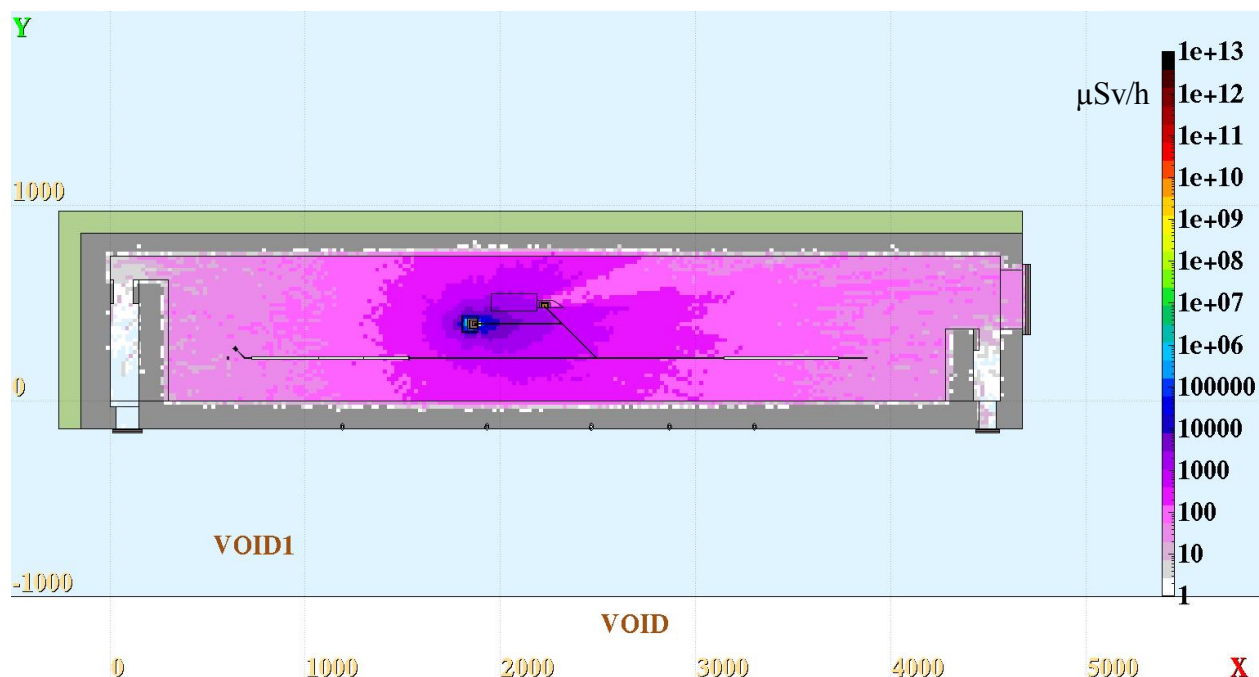


图 5.2-7(a) 运行模式 1 下加速器测试大厅束流平面（标高 0.1m）的剂量率水平分布

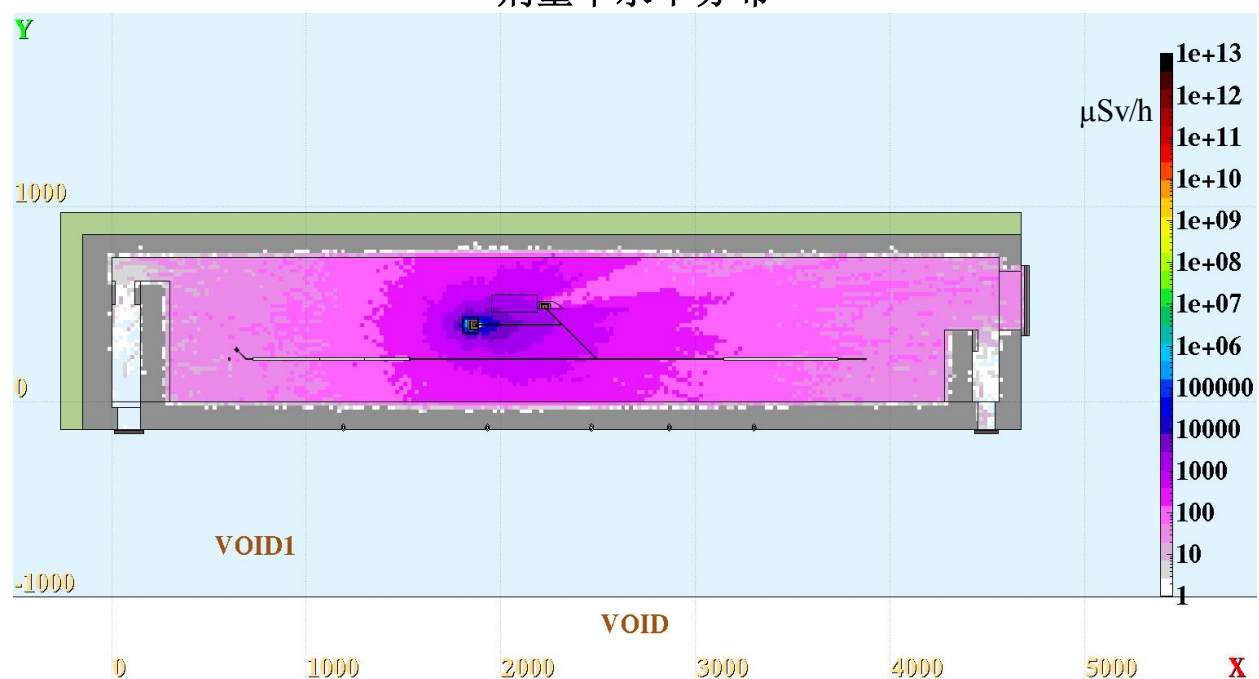


图 5.2-7(b) 运行模式 1 下加速器测试大厅束流平面上下 10cm（标高 0~0.2m）的剂量率水平分布

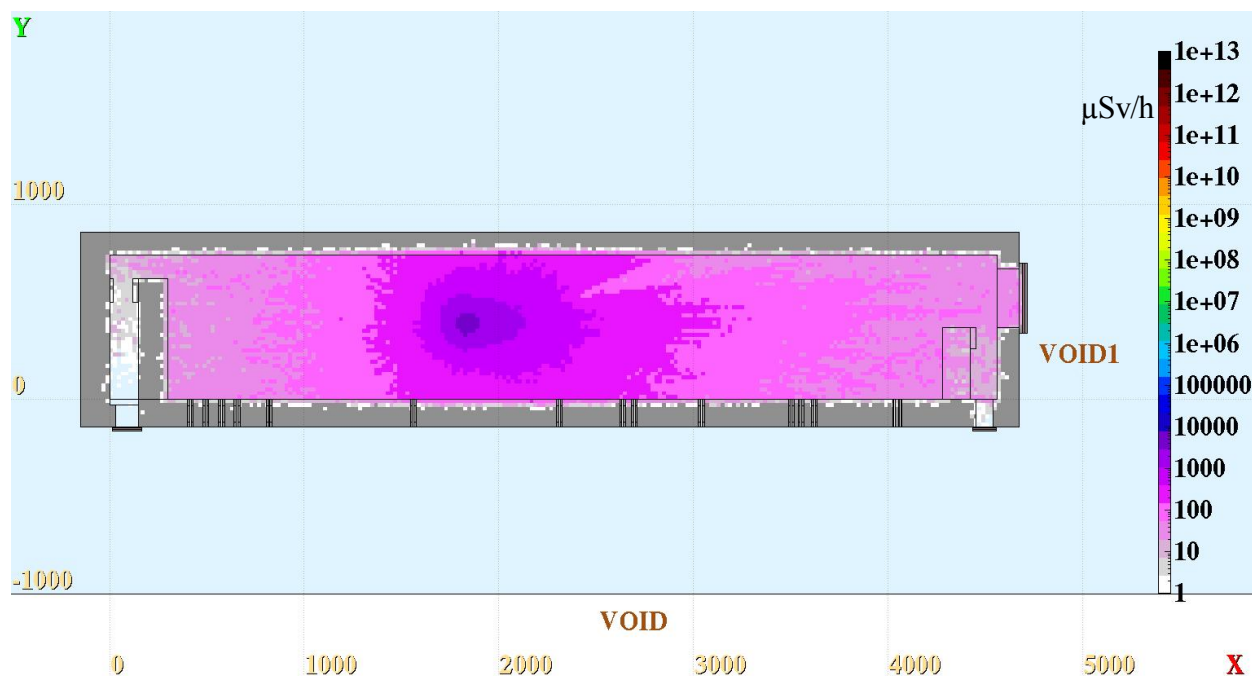


图 5.2-7(c) 运行模式 1 加速器测试大厅过波导/水管孔洞处（标高 1.2~1.4m）的剂量率水平分布

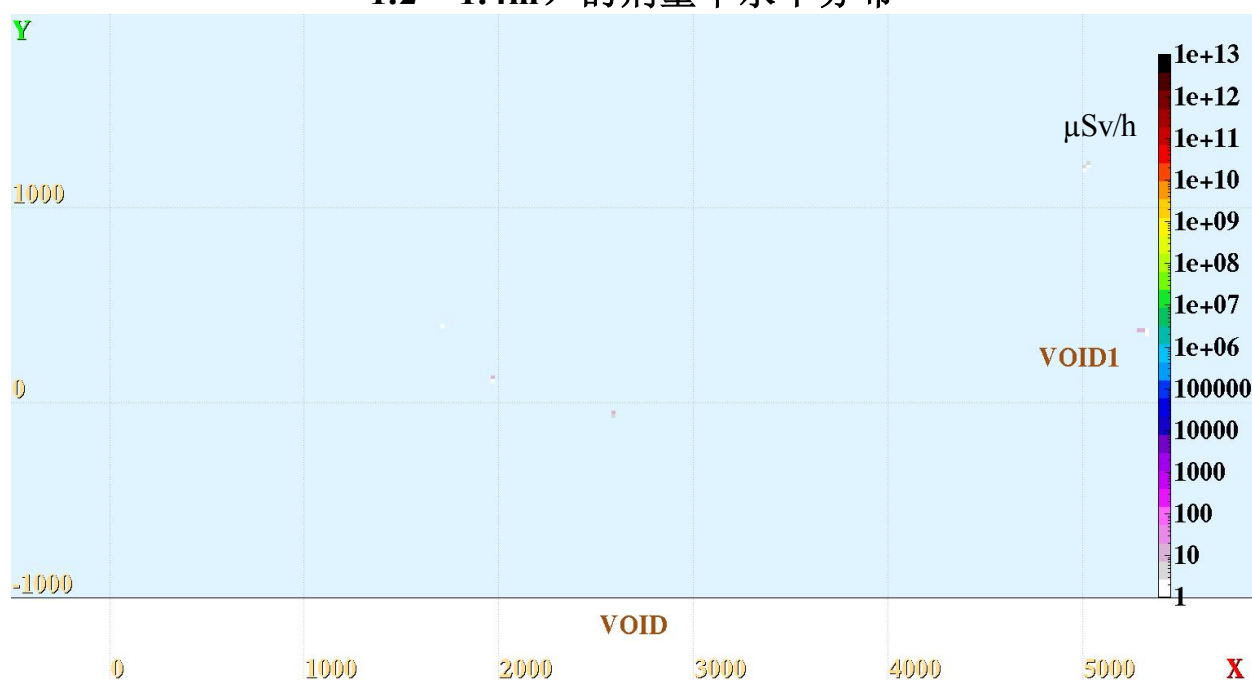


图 5.2-7(d) 运行模式 1 加速器测试大厅顶墙屏蔽外表面 30cm（标高 8.9m）的剂量率水平分布

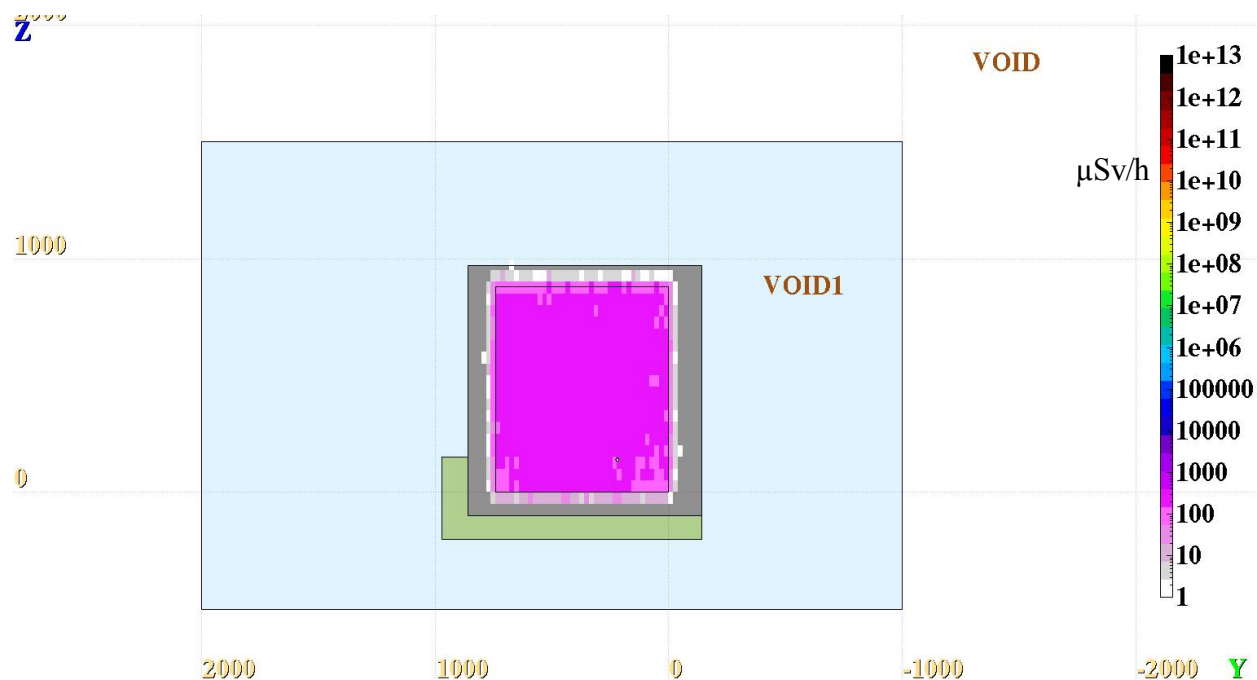


图 5.2-7(e) 运行模式 1 西墙、东墙屏蔽外表面 30cm 内的剂量率竖直分布

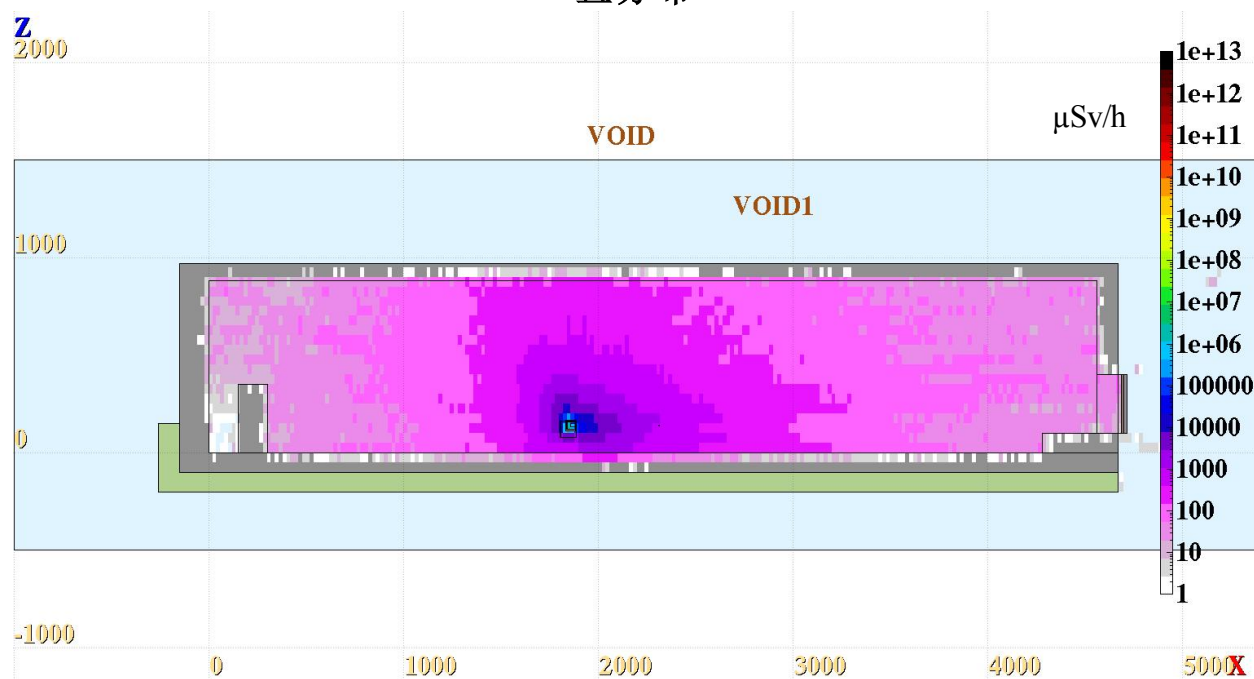


图 5.2-7(f) 运行模式 1 南、北迷宫顶屏蔽的剂量率分布立体图

运行模式 2（束流损失于正电子段钨靶、磁号、加速管、末端法拉第筒及偏转段法兰）：

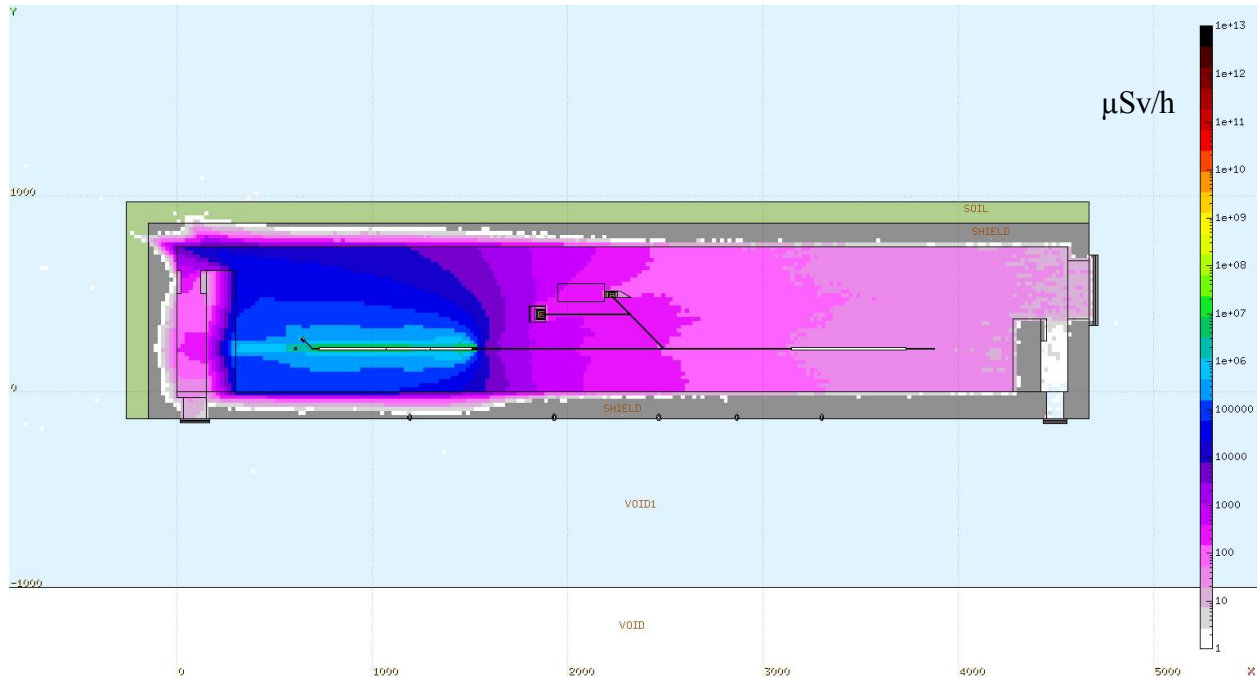


图 5.2-8(a) 运行模式 2 下加速器测试大厅束流平面（标高 0.1m）的剂量率水平分布

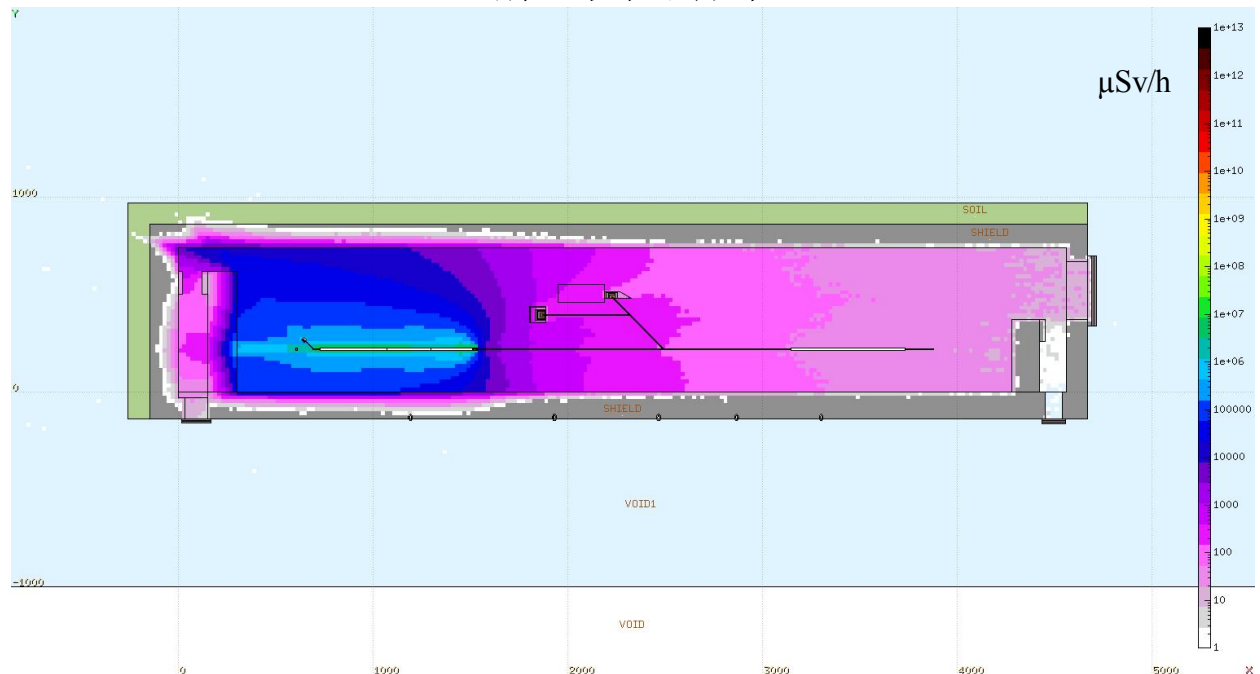


图 5.2-8(b) 运行模式 2 下加速器测试大厅束流平面上下 10cm(标高 0~0.2m) 的剂量率水平分布

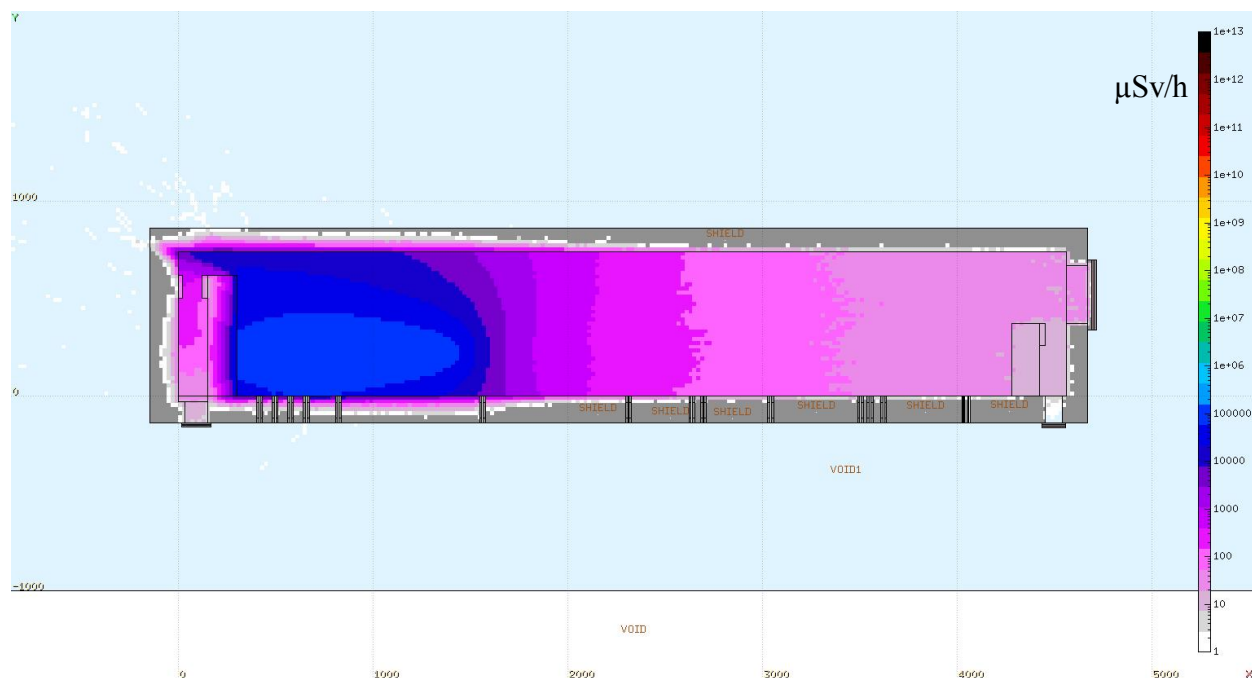


图 5.2-8(c) 运行模式 2 加速器测试大厅过波导/水管孔洞处（标高 1.2~1.4m）的剂量率水平分布

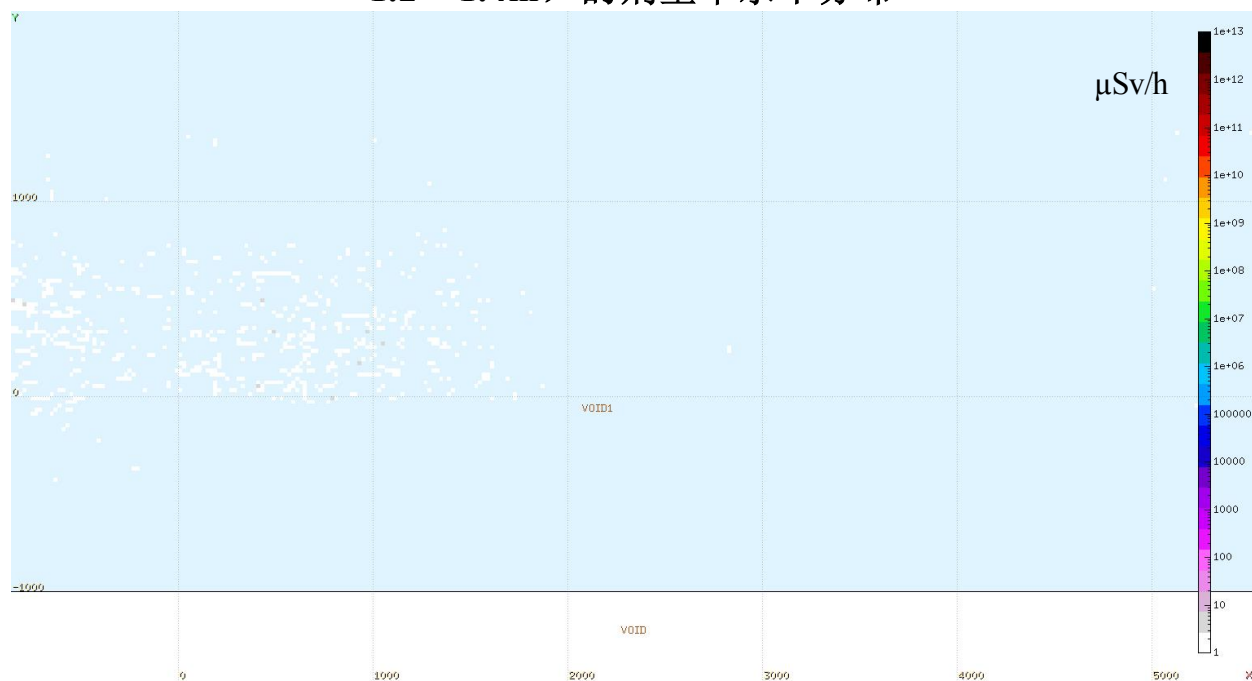


图 5.2-8(d) 运行模式 2 加速器测试大厅顶墙屏蔽外表面 30cm（标高 8.9m）的剂量率水平分布

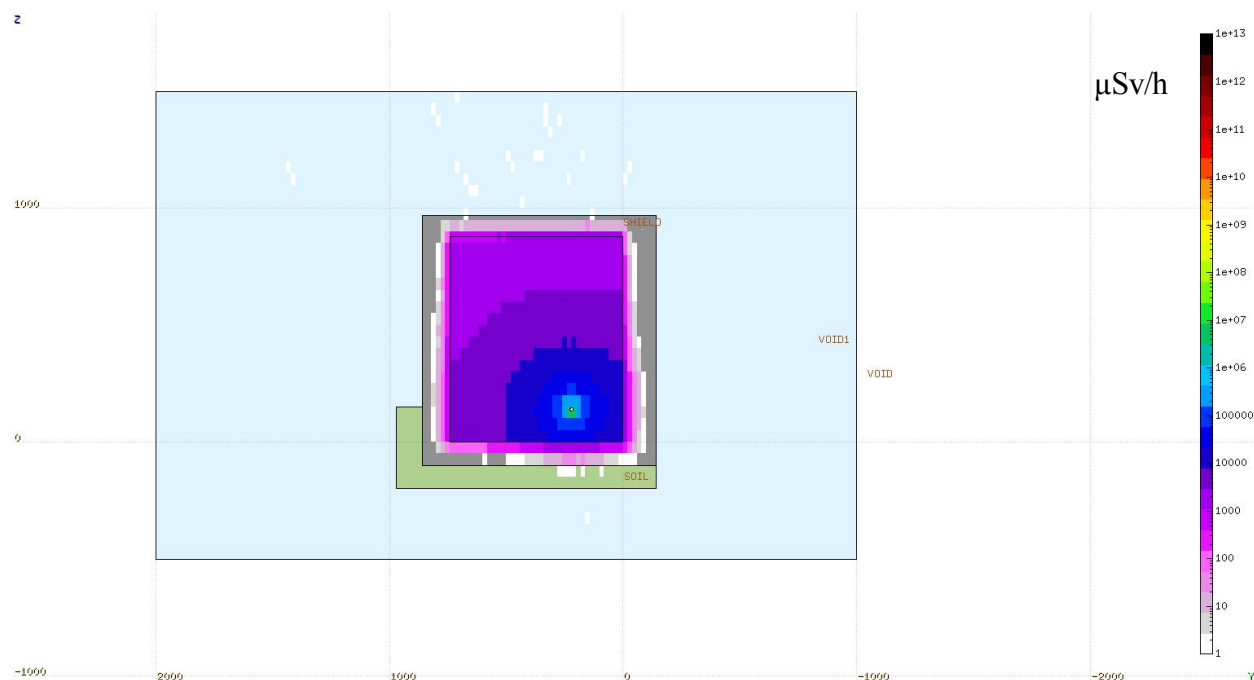


图 5.2-8(e) 运行模式 2 西墙、东墙屏蔽外表面 30cm 内的剂量率竖直分布

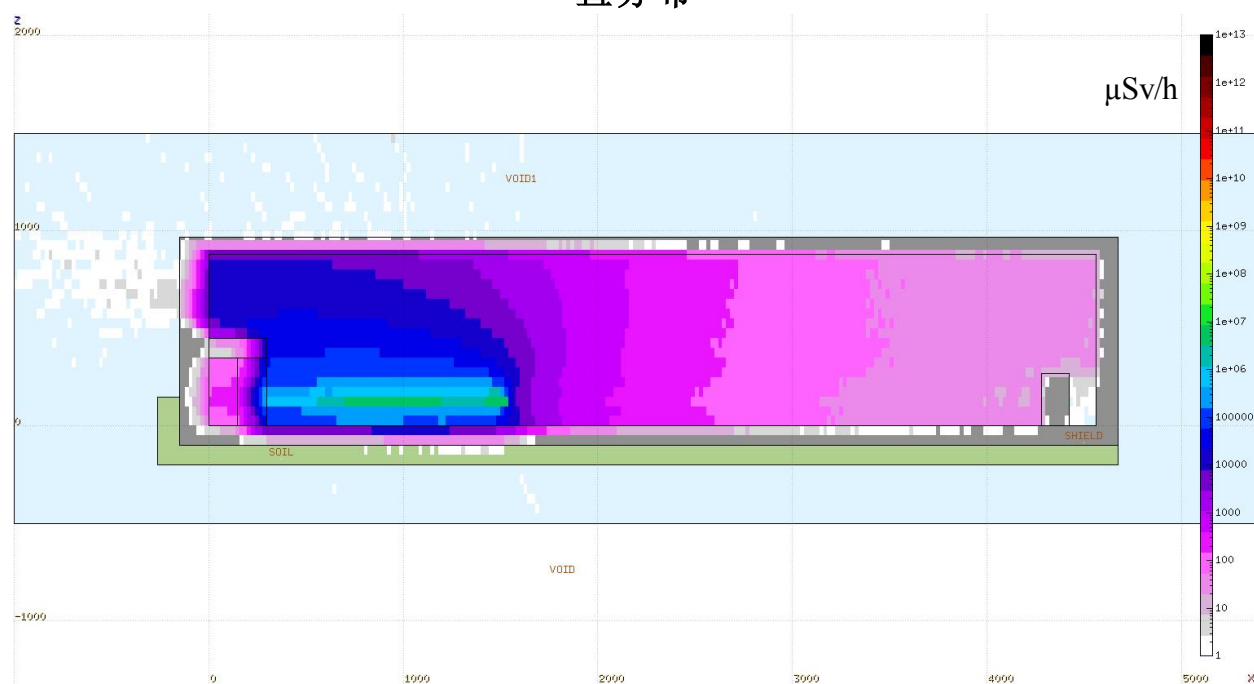


图 5.2-8(f) 运行模式 2 南、北迷宫顶屏蔽的剂量率分布立体图

5.2.2.3 关注点剂量率

计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项见表 5.2-3，加速器测试大厅装置屏蔽体外关注点剂量率模拟结果见表 5.2-4。从下表可以看出，各关注点剂量率均低于其剂量率控制水平，现有机房的屏蔽措施能满足要求。

表 5.2-4 STCF-BTP 加速器测试大厅屏蔽体外关注点剂量率模拟结果

关注点	关注点位置描述	调试模式 1	调试模式 2	调试模式 3	运行模式 1	运行模式 2	剂量率 限值 (μSv/h)
		最大剂量率（μSv/h）					
A	西墙外 30cm 处（地面上方）	0	0	0	0	0	10
B1	东墙外 30cm 处 （速调管走廊波导管洞口处）	0	0	0	0	0.1	2.5
B2	东墙外 30cm 处 （速调管走廊波导管孔洞轴向处）	0.001	0	0	0	0.1	2.5
B3	东墙外 30cm 处 （速调管走廊电缆孔洞处）	0	0	0	0	0.1	2.5
C1	东墙外 30cm 处（激光洁净室非孔洞处）	0	0	0	0	0	2.5
C2	东墙外 30cm 处（激光洁净室孔洞处）	0	0	0	0	0	2.5
C3	控制室	0	0	0	0	0	2.5
D	南迷宫门外 30cm 处	0.001	0.001	0	0	0.01	10
E	北迷宫门外 30cm 处	0	0	0	0	0	10
F1	南墙外 30cm 处	0	0	0	0	0.82	10
F2	南墙外 30cm 处	0	0.002	0	0	0.40	10
G1	北大门外 30cm 处	0.001	0	0	0	0.001	10
G2	北墙外 30cm 处	0	0	0	0	0	10

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

H1	顶墙外 30cm 处（非风管孔洞处）	0.01	0.002	0	0.001	0.28	10
H2	顶墙外 30cm 处（风管孔洞处）	0	0	0	0	0	10
I	南迷宫墙顶屏蔽外 30cm 处	0.003	0.004	0	0	0.78	10
J	北迷宫墙顶屏蔽外 30cm 处	0	0	0	0	0	10
K	速调管走廊屋顶外 30cm 处	0	0	0	0	0	10
L	周围土壤	1.2	0.002	0	0	2.0	/

注：1、束流平面距地面 1.2m（标高 0.1m）；

2.速调管走廊及控制室居留因子取 1；迷宫门外居留因子取 1/8，西、南、北侧墙外居留因子取 1/16，屋顶居留因子取 1/20。

5.2.3 经验公式计算

此评价报告对电子加速器机房屏蔽效果的评述依据《NCRP Report No.51-Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Particle Accelerator Facility》（1977）中给出的计算方法和相关参数。

5.2.3.1 电子线

尽管带电粒子会损失能量并最终被空气吸收，但在计算屏蔽厚度时忽略任何能量损失更安全。NCRP Report No.51附录D-1以入射粒子能量为横轴、几种材料（空气、水、组织、铝和铅）中的电子射程为纵轴绘制的图，根据一阶近似可以得出，入射电子能量为100MeV时，几种材料(空气、水、组织、铝和铅)中的电子射程最大值 R_M 取70g/cm²。则屏蔽材料厚度等于电子射程最大值 R_M 除以材料密度。

表 5.2-5 不同介质中 100MeV 入射电子所需屏蔽材料厚度计算表

序号	材料	密度 (g/cm ³)	R_M (g/cm ²)	屏蔽材料厚度 (cm)
1	空气	1.29E-3	70	54264
2	水	1.0	70	70
3	人体组织	1.0~1.1	70	70
4	铝	2.7	70	26
5	铅	11.3	70	6

由上表可知，电子束的能量能被空气消减或几厘米厚的铅完全阻挡。本项目辐射工作场所拟采取的屏蔽措施完全能够阻挡泄漏电子，因此电子对周围辐射环境影响可忽略不计。

5.2.3.2 X射线

5.2.3.2.1 屏蔽墙（门）外 X、 γ 剂量率

当以原发X射线为主导进行屏蔽计算时，将其看作X射线的点源，按下式计算：

$$\dot{H}_{1d,X} \leq \dot{H}_M = \frac{\dot{D}_{I0} B_x T}{(1.67 \times 10^{-5}) d^2} \times 10 \quad (5.2-1)$$

式中：

B_x 为 X 射线的屏蔽透射比；

$\dot{D}_{I0}$ 是在距离源 1 米的标准参考距离处的吸收剂量率（ $\text{rads.m}^2.\text{min}^{-1}$ ）；

$\dot{H}_{1d}$ 是参考点上所有剂量当量指数率的总和（ $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ）；

H_M 是最大允许剂量当量或剂量限制率（ $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ）；

d 为 X 射线源与关注点之间的距离（m）；

T 为居留因子（见附录 B-6）；

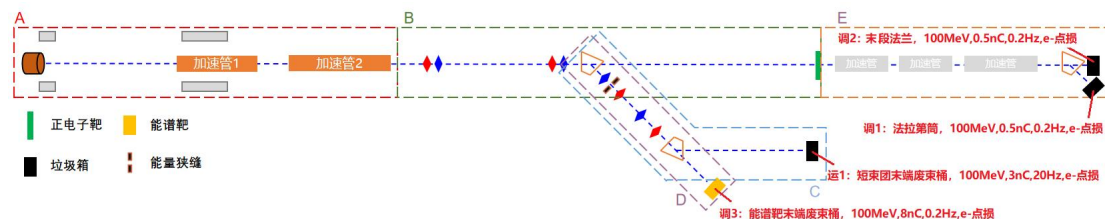
根据下式（5.2-2）计算 B_x ：

$$B_x = 10^{-n}, n = (S - T_1) / T_e + 1 \quad (5.2-2)$$

式中：

S 为屏蔽层厚度；

T_1 为屏蔽厚度中的第一个什值层，面向辐射源； T_e 是后面的什值层，数值近似恒定，或“处于平衡”。侧向电子能量等效为正向电子能量来自附录 E.6，相应的什值层取值来自附录 E.12 和 E.14。



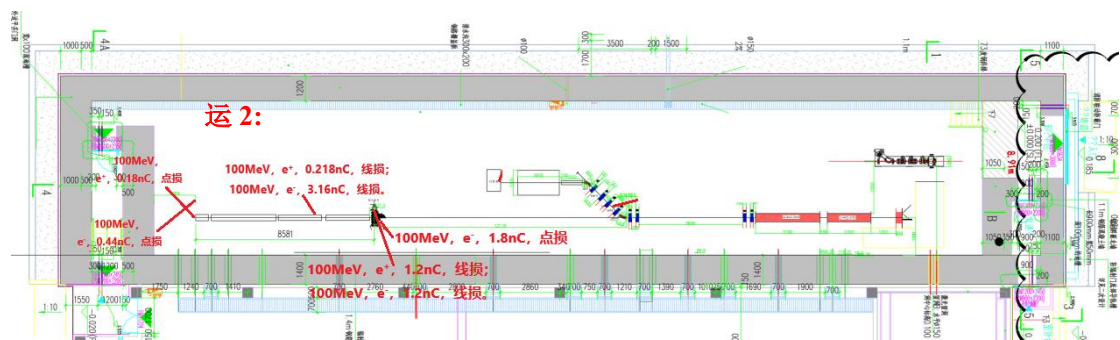


图 5.2-9 STCF-BTP 项目装置束流损失点位示意图

本次计算不考虑电子束加速过程的损失率；对于几种调试和运行模式，末端束流损失点为废束桶/末端法兰/法拉第筒，考虑其屏蔽效能，计算 Bx 结果如下；对于运行模式 2，正电子段磁号、正电子段加速管束流为均匀线损，保守按点损失计算。磁号材质为低碳钢，表面镀镍；正电子段加速管材质为无氧铜，厚度 1.5mm，不考虑磁号和加速管的屏蔽效能。

表 5.2-6(d) 末端废束桶/末端法兰 B_{2x} 的计算

束流损失点	屏蔽结构	Bx 正向	Bx 侧向
短束团束线末端废束桶	60cmFe+7cmPb+14cmBEP	1.96E-10	1.26E-09
法拉第筒	6.1cmCu	1.54E-01	1.73E-01
正电子段末端法兰	8cmFe	8.58E-02	1.00E-01
负电子段能谱靶末端废束桶	30cmCu+5cmPb+5cmBEP	7.03E-03	1.33E-02

注：Cu 原子序数为 29，Fe 原子序数为 26，Cu 保守按 Fe 选择其 TVL 值。

表 5.2-7 关注点处剂量率计算结果

关注点	工作模式		$\dot{D}_{T0}$	B_{1X} (屏蔽墙或直接屏蔽门)	B_{2X} (末端废束桶/末端法兰)	$d(m)$	T	$\dot{H}_{1d}$	最终结果
			($\text{rads.m}^2.\text{min}^{-1}$)					($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)	($\mu\text{Sv.h}^{-1}$)
A（西墙）	运 1		1.44E-01	4.06E-03	1.26E-09	4.7	1/16	1.25E-09	1.25E-09
	调 1（按正向）		3.50E-01	4.80E-03	1.54E-01	6.2	1/16	2.54E-01	2.54E-01
	调 2		2.40E-04	4.06E-03	1.00E-01	6.7	1/16	8.13E-05	8.13E-05
	调 3（按正向）		5.60E+00	4.80E-03	7.03E-03	4	1/16	4.42E-01	4.42E-01
	运 2	1#	8.64E-03	4.06E-03	1.00E+00	6.7	1/16	2.93E-02	8.16E-02
		2#	2.88E-03	4.06E-03	1.00E+00	6.7	1/16	9.75E-03	
		3#	2.88E-03	4.06E-03	1.00E+00	6.7	1/16	9.75E-03	
		4#	9.60E-04	4.06E-03	1.00E+00	6.7	1/16	3.25E-03	
		5#	8.64E-03	4.06E-03	1.00E+00	6.7	1/16	2.93E-02	
		6#	2.59E-04	4.06E-03	1.54E-01	6.2	1/16	0.00E+00	
		7#	1.06E-03	4.06E-03	1.00E-01	6.7	1/16	3.58E-04	
B（东墙）	运 1		1.44E-01	1.49E-03	1.26E-09	5.9	1	4.65E-09	4.65E-09
	调 1		2.40E-04	1.49E-03	1.73E-01	4.3	1	2.00E-03	2.00E-03
	调 2		2.40E-04	1.49E-03	1.00E-01	3.9	1	1.41E-03	1.41E-03
	调 3		3.84E-03	1.49E-03	1.33E-02	6.6	1	1.05E-03	1.05E-03
	运 2	1#	8.64E-03	1.49E-03	1.00E+00	3.9	1	5.08E-01	1.42E+00
		2#	2.88E-03	1.49E-03	1.00E+00	3.9	1	1.69E-01	
		3#	2.88E-03	1.49E-03	1.00E+00	3.9	1	1.69E-01	
		4#	9.60E-04	1.49E-03	1.00E+00	3.9	1	5.64E-02	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		5#	8.64E-03	1.49E-03	1.00E+00	3.9	1	5.08E-01	
		6#	2.59E-04	1.49E-03	1.73E-01	4.43	1	2.04E-03	
		7#	1.06E-03	1.49E-03	1.00E-01	3.9	1	6.20E-03	
G1（北大门）	运 1		1.44E-01	2.51E-07	1.26E-09	28.5	1/8	4.20E-15	4.20E-15
	调 1		2.40E-04	2.51E-07	1.73E-01	40.5	1/8	4.75E-10	4.75E-10
	调 2		2.40E-04	2.51E-07	1.00E-01	40.8	1/8	2.71E-10	2.71E-10
	调 3		3.84E-03	2.51E-07	1.33E-02	24.8	1/8	1.57E-09	1.57E-09
	运 2	1#	8.64E-03	2.51E-07	1.00E+00	31.5	1/8	1.64E-07	4.15E-07
		2#	2.88E-03	2.51E-07	1.00E+00	31.5	1/8	5.46E-08	
		3#	2.88E-03	2.51E-07	1.00E+00	31.5	1/8	5.46E-08	
		4#	9.60E-04	2.51E-07	1.00E+00	35.8	1/8	1.41E-08	
		5#	8.64E-03	2.51E-07	1.00E+00	35.8	1/8	1.27E-07	
		6#	2.59E-04	2.51E-07	1.73E-01	40.5	1/8	5.13E-10	
		7#	1.06E-03	2.51E-07	1.00E-01	40.8	1/8	1.19E-09	
G2（北墙外）	运 1		1.44E-01	6.06E-06	1.26E-09	28.5	1/8	1.01E-13	1.01E-13
	调 1		2.40E-04	6.06E-06	1.73E-01	40.5	1/8	1.15E-08	1.15E-08
	调 2		2.40E-04	6.06E-06	1.00E-01	40.8	1/8	6.54E-09	6.54E-09
	调 3		3.84E-03	6.06E-06	1.33E-02	24.8	1/8	3.78E-08	3.78E-08
	运 2	1#	8.64E-03	6.06E-06	1.00E+00	31.5	1/8	3.95E-06	1.00E-05
		2#	2.88E-03	6.06E-06	1.00E+00	31.5	1/8	1.32E-06	
		3#	2.88E-03	6.06E-06	1.00E+00	31.5	1/8	1.32E-06	
		4#	9.60E-04	6.06E-06	1.00E+00	35.8	1/8	3.40E-07	
		5#	8.64E-03	6.06E-06	1.00E+00	35.8	1/8	3.06E-06	
		6#	2.59E-04	6.06E-06	1.73E-01	40.5	1/8	1.24E-08	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		7#	1.06E-03	6.06E-06	1.00E-01	40.8	1/8	2.88E-08	
F1(南墙)	运 1		2.10E+02	1.03E-03	1.96E-10	20.5	1/16	3.77E-09	3.77E-09
	调 1		3.50E-01	6.76E-08	1.54E-01	9.0	1/16	1.68E-06	1.68E-06
	调 2		3.50E-01	2.66E-08	8.58E-02	9.1	1/16	3.61E-07	3.61E-07
	调 3		5.60E+00	1.08E-03	7.03E-03	24.1	1/16	2.76E-03	2.76E-03
	运 2	1#	9.00E+00	7.56E-04	1.00E+00	18.2	1/16	7.71E-01	1.64E+00
		2#	4.20E+00	7.56E-04	1.00E+00	18.2	1/16	3.60E-01	
		3#	4.20E+00	7.56E-04	1.00E+00	18.2	1/16	3.60E-01	
		4#	1.40E+00	5.83E-05	1.00E+00	14.3	1/16	1.49E-02	
		5#	1.26E+01	5.83E-05	1.00E+00	14.3	1/16	1.35E-01	
		6#	6.30E-01	6.76E-08	1.54E-01	9.0	1/16	3.02E-06	
		7#	1.54E+00	2.66E-08	8.58E-02	9.1	1/16	1.59E-06	
F2(南墙)	运 1		2.10E+02	7.17E-07	1.96E-10	20.3	1/16	2.68E-12	2.68E-12
	调 1		3.50E-01	8.19E-07	1.54E-01	8.3	1/16	2.39E-05	2.39E-05
	调 2		3.50E-01	8.66E-07	8.58E-02	8	1/16	1.52E-05	1.52E-05
	调 3		5.60E+00	7.11E-07	7.03E-03	24	1/16	1.82E-06	1.82E-06
	运 2	1#	9.00E+00	7.10E-07	1.00E+00	17.3	1/16	7.99E-04	3.84E-03
		2#	4.20E+00	7.10E-07	1.00E+00	17.3	1/16	3.73E-04	
		3#	4.20E+00	7.10E-07	1.00E+00	17.3	1/16	3.73E-04	
		4#	1.40E+00	7.10E-07	1.00E+00	13	1/16	2.20E-04	
		5#	1.26E+01	7.10E-07	1.00E+00	13	1/16	1.98E-03	
		6#	6.30E-01	7.10E-07	1.54E-01	8.3	1/16	3.73E-05	
		7#	1.54E+00	7.10E-07	8.58E-02	8	1/16	5.48E-05	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

H（顶板 上方）	运 1		1.44E-01	1.82E-02	1.26E-09	10	1/20	9.90E-10	9.90E-10
	调 1		2.40E-04	1.82E-02	1.73E-01	10	1/20	2.26E-04	2.26E-04
	调 2		2.40E-04	1.82E-02	1.00E-01	10	1/20	1.31E-04	1.31E-04
	调 3		3.84E-03	1.82E-02	1.33E-02	10	1/20	2.80E-04	2.80E-04
	运 2	1#	8.64E-03	1.82E-02	1.00E+00	10	1/20	4.72E-02	1.32E-01
		2#	2.88E-03	1.82E-02	1.00E+00	10	1/20	1.57E-02	
		3#	2.88E-03	1.82E-02	1.00E+00	10	1/20	1.57E-02	
		4#	9.60E-04	1.82E-02	1.00E+00	10	1/20	5.24E-03	
		5#	8.64E-03	1.82E-02	1.00E+00	10	1/20	4.72E-02	
		6#	2.59E-04	1.82E-02	1.73E-01	10	1/20	2.44E-04	
		7#	1.06E-03	1.82E-02	1.00E-01	10	1/20	5.76E-04	

5.2.3.2.2 迷路口的剂量率（D 点、E 点）

考虑到束流方向向南，且束流损失点距南迷宫入口 D 点的距离均大于 E 点；已建的北迷宫防护门铅屏蔽厚度大于南迷宫，故以下计算时以 D 点作为代表进行计算，若 D 点处能满足要求，则 E 点均能满足要求。

在计算 D 点处的辐射剂量率时，考虑的路径为（7 个束流损失点，以 1#束流损失点（钨靶）为例）：

泄漏射线：O-D；

反射射线：O-i-D、O-h-n-D；

穿过迷路内墙的射线至迷路外墙的散射路径：O-j-D。

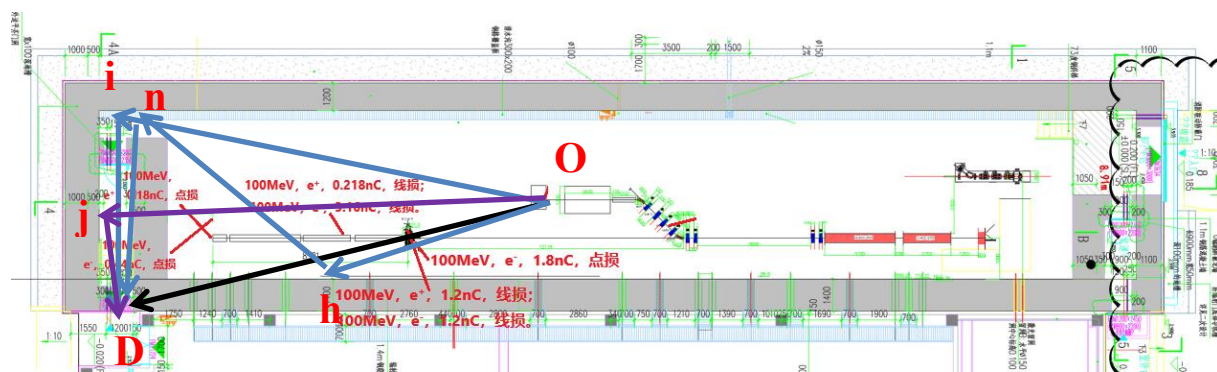


图 5.2-10(a) 射线路径及关注点示意图

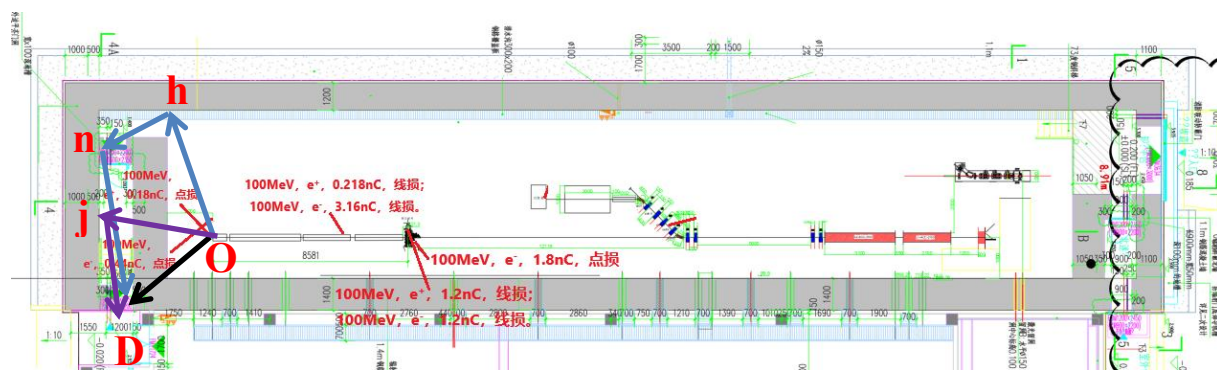


图 5.2-10(b) 射线路径及关注点示意图

①泄露射线：路径 O-D，按前述公式（1）计算，各参数取值如下：

表 5.2-8(a) $\dot{H}_{o-D}$ 计算参数及结果

工作模式		$\dot{D}_0$	$d(m)$	T	Tl(cm))	$Te(cm)$	$S(cm)$	θ°	$S^*(cm)$	n	B_{1X}	B_{2X}	$\dot{H}_{o-D}$	最终结果 ($\mu Sv.h^{-1}$)
		(rads.m ² .min ⁻¹)											($\mu Sv.h^{-1}$)	
运 1		2.10E+02	18.6	1/8	58	47	140	72	453	9.41	3.93E-10	1.96E-10	3.51E-15	3.51E-15
调 1		3.50E-01	7.2	1/8	58	47	140	53	233	4.72	1.93E-05	1.54E-01	1.50E-03	1.50E-03
调 2		3.50E-01	6.7	1/8	58	47	140	55	244	4.96	1.10E-05	8.58E-02	5.50E-04	5.50E-04
调 3		5.60E+00	22.1	1/8	58	47	140	73	479	9.95	1.11E-10	7.03E-03	6.71E-10	6.71E-10
运 2	1#	9.00E+00	15.3	1/8	58	47	140	76	579	12.08	8.34E-13	1.00E+00	2.40E-09	5.14E-03
	2#	4.20E+00	15.3	1/8	58	47	140	76	579	12.08	8.34E-13	1.00E+00	1.12E-09	
	3#	4.20E+00	15.3	1/8	58	47	140	76	579	12.08	8.34E-13	1.00E+00	1.12E-09	
	4#	1.40E+00	11.1	1/8	58	47	140	70	409	8.48	3.35E-09	1.00E+00	2.85E-06	
	5#	1.26E+01	11.1	1/8	58	47	140	70	409	8.48	3.35E-09	1.00E+00	2.56E-05	
	6#	6.30E-01	7.2	1/8	58	47	140	53	233	4.72	1.93E-05	1.54E-01	2.69E-03	
	7#	1.54E+00	6.7	1/8	58	47	140	55	244	4.96	1.10E-05	8.58E-02	2.42E-03	

注：1、有效屏蔽厚度 $S^*=S/\cos\theta$ 。

②泄漏辐射受墙的散射射线：O1-i--D

泄露辐射在墙上的二次散射路径（O1-i-D）按下式计算，各参数取值如下：

$$\dot{H}_{o-i-D} = \frac{\dot{D}_{I0} \alpha_x AT}{(1.67 \times 10^{-5}) d_1^2 d_r^2} \times 10 \quad (5.2-3)$$

式中：

α_x 为反射材料的反射系数，基于对入射 X 射线的能量、反射角和反射材料；其取值来自附录 E-15。

A 为入射 X 射线束照射在反射材料上的面积（m²）；

T 为居留因子，无量纲；本项目防护门外 T 取 1/8；

d1 为 X 射线产生靶到反射材料的距离（m），即 O 至 i 的距离，m；

dr 为 i 至 D 的距离，m；部分点位在迷路内二次散射，保守考虑仍按一次散射计算，dr 取 i 至 n、n 至 D 的距离之和；

表 5.2-8(b) $\dot{H}_{o-i-D}$ 参数取值及计算结果

工作模式		$\dot{D}_{I0}$ (rads.m ² .min ⁻¹)	dI (m)	dr (m)	α_x	A(m ²)	T	$\dot{H}_{o-i-D}$ (μSv.h ⁻¹)	最终结果 (μSv.h ⁻¹)
运 1		2.10E+02	18.2	9.2	2.8E-3	26.4	0.125	8.13E-09	8.13E-09
调 1		3.50E-01	6.6	9.7	2.1E-03	26.4	0.125	5.45E-02	5.45E-02
调 2		3.50E-01	6.6	9.7	2.1E-03	26.4	0.125	3.04E-02	3.04E-02
调 3		5.60E+00	21.6	9.2	2.8E-3	26.4	0.125	5.52E-03	5.52E-03
运 2	1#	9.00E+00	15.9	9.2	2.1E-3	26.4	0.125	1.75E+00	1.01E+01
	2#	4.20E+00	15.9	9.2	2.1E-3	26.4	0.125	8.15E-01	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

	3#	4.20E+00	15.9	9.2	2.1E-3	26.4	0.125	8.15E-01	
	4#	1.40E+00	11.9	9.2	2.8E-3	26.4	0.125	6.46E-01	
	5#	1.26E+01	11.9	9.2	2.8E-3	26.4	0.125	5.82E+00	
	6#	6.30E-01	6.6	9.7	2.1E-03	26.4	0.125	9.80E-02	
	7#	1.54E+00	6.6	9.7	2.1E-03	26.4	0.125	1.34E-01	

③穿过迷路内墙的射线至迷路外墙的散射路径：O-j--D

表 5.2-8(c) $\dot{H}_{o-j-D}$ 参数取值及计算结果

运行模式		(rads.m ² . min ⁻¹)	dI(m)	dr(m)	α_x	A(m ²)	T	B _{1X}	B _{2X}	$\dot{H}_{o-j-D}$ (μSv.h ⁻¹)	求和
运 1		2.10E+02	18.4	6	5.00E-04	5.57E+02	1/8	1.10E-03	1.96E-10	7.77E-11	7.77E-11
调 1		3.50E-01	6.5	4.6	5.00E-04	7.09E+01	1/8	1.10E-03	1.00E+00	1.76E-04	1.76E-04
调 2		3.50E-01	6.2	4.1	5.00E-04	6.46E+01	1/8	1.10E-03	1.17E-01	1.24E-04	1.24E-04
调 3		5.60E+00	22	6.8	5.00E-04	7.95E+02	1/8	1.10E-03	6.03E-06	5.78E-05	5.78E-05
运 2	1#	9.00E+00	15.5	4.1	5.00E-04	3.96E+02	1/8	1.10E-03	1.00E+00	3.64E-02	1.28E-01
	2#	4.20E+00	15.5	4.1	5.00E-04	3.96E+02	1/8	1.10E-03	1.00E+00	1.70E-02	
	3#	4.20E+00	15.5	4.1	5.00E-04	3.96E+02	1/8	1.10E-03	1.00E+00	1.70E-02	
	4#	1.40E+00	11.2	4.1	5.00E-04	2.08E+02	1/8	1.10E-03	1.00E+00	5.70E-03	
	5#	1.26E+01	11.2	4.1	5.00E-04	2.08E+02	1/8	1.10E-03	1.00E+00	5.13E-02	
	6#	6.30E-01	6.5	4.6	5.00E-04	7.09E+01	1/8	1.10E-03	1.00E+00	3.17E-04	
	7#	1.54E+00	6.2	4.1	5.00E-04	6.46E+01	1/8	1.10E-03	1.17E-01	5.45E-04	

迷路入口 D 处的 X 线辐射剂量率 $\dot{H}_{FT}$ 为 $\dot{H}_{o-D}$ 、 $\dot{H}_{o-i-D}$ 、 $\dot{H}_{o-j-D}$ 之和。

表 5.2-8(d) 迷路入口 D 处辐射剂量率

运行模式	$\dot{H}_{o-D} (\mu\text{Sv.h}^{-1})$	$\dot{H}_{o-i-D} (\mu\text{Sv.h}^{-1})$	$\dot{H}_{o-j-D} (\mu\text{Sv.h}^{-1})$	$\dot{H}_{FT} (\mu\text{Sv.h}^{-1})$
运 1	3.51E-15	8.13E-09	4.38E-15	8.13E-09
调 1	1.50E-03	5.45E-02	7.80E-08	5.60E-02
调 2	5.50E-04	3.04E-02	6.02E-08	3.09E-02
调 3	6.71E-10	5.52E-03	2.28E-09	5.52E-03
运 2	5.14E-03	1.01E+01	1.46E-05	1.01E+01

5.2.3.3 中子

5.2.3.3.1 屏蔽墙（门）外中子剂量率

当初级中子主导屏蔽情况时，中子的屏蔽透射比 B_n 可由中子注量率 Φ_0 得到：

$$\dot{H}_{ld,n} \leq \dot{H}_M = \frac{\phi_0 B_n T}{(2.8 \times 10^{-7}) d^2} \times 10 \quad (5.2-4)$$

式中：

$\dot{H}_{ld,n}$ 为中子辐射剂量率（ $\mu\text{Sv.h}^{-1}$ ）；

B_n 为屏蔽透射比（ rem.cm^2 ）；

Φ_0 为在一标准参考距离 1m 处的中子注量率（ $\text{m}^2.\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ）；

d 为中子源与参考点之间的距离（m）；

为求得 B_n 值，根据屏蔽材料（混凝土）的密度乘以屏蔽设计厚度可以得到对应的混凝土厚度 H ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)。

对于北侧大门，无迷路设置，为直接屏蔽门，无法查得含硼聚乙烯门对应厚度下的 B_n 值，故采用如下公式计算北大门外 G1 点处的中子周围剂量当量率：

$$H_n = \phi_0 \times C_{\phi H} / d^2 \times e^{-\mu d} \times B \times T \times 3600 \times 10^6 \quad (5.2-5)$$

式中：

H_n 为中子辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)；

B 为屏蔽透射因子， $B=10^{-S/\text{TVL}}$ ，无量纲； S 为防护门含硼聚乙烯屏蔽厚度，单位 cm ；

TVL 为中子在含硼（5%）聚乙烯中的什值层厚度，单位 cm ；

Φ_0 为在一标准参考距离 1m 处的中子注量率 ($\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)；

$C_{\phi H}$ 为剂量当量率转换系数，单位 $\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$ 。

d 为中子源与参考点之间的距离 (m)；

μ 为中子在空气中的线性衰减系数，单位为 cm^{-1} ；本项目取 $7.6\text{E}-5\text{cm}^{-1}$ 。

表 5.2-9(c) 关注点处中子剂量率

关注点	束流损失点	Φ_0	B_n	$d(\text{m})$	T	$\dot{H}_{\text{ID},n}$	最终结果 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)	
		($\text{m}^2\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	($\text{rem}\cdot\text{cm}^2$)			($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)		
A (西墙)	运 1	4.50E+05	5E-13	4.7	0.0625	2.27E-02	2.27E-02	
	调 1	1.10E+03	5E-13	6.2	0.0625	3.22E-05	3.22E-05	
	调 2	7.50E+02	5E-13	6.7	0.0625	1.86E-05	1.86E-05	
	调 3	1.76E+04	5E-13	4	0.0625	1.23E-03	1.23E-03	
	运 2	1#	4.14E+04	5E-13	6.7	0.0625	1.03E-03	2.71E-03
		2#	9.00E+03	5E-13	6.7	0.0625	2.24E-04	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		3#	9.00E+03	5E-13	6.7	0.0625	2.24E-04	
		4#	4.40E+03	5E-13	6.7	0.0625	1.09E-04	
		5#	3.96E+04	5E-13	6.7	0.0625	9.85E-04	
		6#	1.98E+03	5E-13	6.2	0.0625	5.80E-05	
		7#	3.30E+03	5E-13	6.7	0.0625	8.20E-05	
B (东墙)	运 1		4.50E+05	1.00E-13	5.9	1	4.62E-02	4.62E-02
	调 1		1.10E+03	1.00E-13	4.3	1	2.12E-04	2.12E-04
	调 2		7.50E+02	1.00E-13	3.9	1	1.76E-04	1.76E-04
	调 3		1.76E+04	1.00E-13	6.6	1	1.44E-03	1.44E-03
	运 2	1#	4.14E+04	1.00E-13	3.9	1	9.72E-03	2.54E-02
		2#	9.00E+03	1.00E-13	3.9	1	2.11E-03	
		3#	9.00E+03	1.00E-13	3.9	1	2.11E-03	
		4#	4.40E+03	1.00E-13	3.9	1	1.03E-03	
		5#	3.96E+04	1.00E-13	3.9	1	9.30E-03	
		6#	1.98E+03	1.00E-13	4.43	1	3.60E-04	
		7#	3.30E+03	1.00E-13	3.9	1	7.75E-04	
G1 (北大 门)	运 1		4.50E+05	2.15E-03	28.5	0.125	1.80E-01	1.80E-01
	调 1		1.10E+03	2.15E-03	40.5	0.125	1.99E-04	1.99E-04
	调 2		7.50E+02	2.15E-03	40.8	0.125	1.33E-04	1.33E-04
	调 3		1.76E+04	2.15E-03	24.8	0.125	9.56E-03	9.56E-03
	运 2	1#	4.14E+04	2.15E-03	31.5	0.125	1.32E-02	3.05E-02
		2#	9.00E+03	2.15E-03	31.5	0.125	2.88E-03	
		3#	9.00E+03	2.15E-03	31.5	0.125	2.88E-03	
		4#	4.40E+03	2.15E-03	35.8	0.125	1.05E-03	
		5#	3.96E+04	2.15E-03	35.8	0.125	9.49E-03	
		6#	1.98E+03	2.15E-03	40.5	0.125	3.58E-04	
		7#	3.30E+03	2.15E-03	40.8	0.125	5.86E-04	
G2 (北墙 外)	运 1		4.50E+05	1.00E-16	28.5	0.125	2.47E-07	2.47E-07
	调 1		1.10E+03	1.00E-16	40.5	0.125	2.99E-10	2.99E-10
	调 2		7.50E+02	1.00E-16	40.8	0.125	2.01E-10	2.01E-10
	调 3		1.76E+04	1.00E-16	24.8	0.125	1.28E-08	1.28E-08
	运 2	1#	4.14E+04	1.00E-16	31.5	0.125	1.86E-08	4.35E-08
		2#	9.00E+03	1.00E-16	31.5	0.125	4.05E-09	
		3#	9.00E+03	1.00E-16	31.5	0.125	4.05E-09	
		4#	4.40E+03	1.00E-16	35.8	0.125	1.53E-09	
		5#	3.96E+04	1.00E-16	35.8	0.125	1.38E-08	
		6#	1.98E+03	1.00E-16	40.5	0.125	5.39E-10	
		7#	3.30E+03	1.00E-16	40.8	0.125	8.85E-10	
F1	运 1		4.50E+05	4.00E-14	20.5	0.0625	9.56E-05	

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

(南墙)	调 1		1.10E+03	4.00E-14	9.0	0.0625	1.21E-06	1.21E-06
	调 2		7.50E+02	4.00E-14	9.1	0.0625	8.09E-07	8.09E-07
	调 3		1.76E+04	4.00E-14	24.1	0.0625	2.72E-06	2.72E-06
	运 2	1#	4.14E+04	4.00E-14	18.2	0.0625	1.12E-05	4.10E-05
		2#	9.00E+03	4.00E-14	18.2	0.0625	2.43E-06	
		3#	9.00E+03	4.00E-14	18.2	0.0625	2.43E-06	
		4#	4.40E+03	4.00E-14	14.3	0.0625	1.92E-06	
		5#	3.96E+04	4.00E-14	14.3	0.0625	1.73E-05	
		6#	1.98E+03	4.00E-14	9.0	0.0625	2.18E-06	
		7#	3.30E+03	4.00E-14	9.1	0.0625	3.56E-06	
F2 (南墙)	运 1		4.50E+05	1.00E-16	20.3	0.0625	2.44E-07	2.44E-07
	调 1		1.10E+03	1.00E-16	8.3	0.0625	3.56E-09	3.56E-09
	调 2		7.50E+02	1.00E-16	8	0.0625	2.62E-09	2.62E-09
	调 3		1.76E+04	1.00E-16	24	0.0625	6.82E-09	6.82E-09
	运 2	1#	4.14E+04	1.00E-16	17.3	0.0625	3.09E-08	1.20E-07
		2#	9.00E+03	1.00E-16	17.3	0.0625	6.71E-09	
		3#	9.00E+03	1.00E-16	17.3	0.0625	6.71E-09	
		4#	4.40E+03	1.00E-16	13	0.0625	5.81E-09	
		5#	3.96E+04	1.00E-16	13	0.0625	5.23E-08	
		6#	1.98E+03	1.00E-16	8.3	0.0625	6.42E-09	
		7#	3.30E+03	1.00E-16	8	0.0625	1.15E-08	
H (顶板上)	运 1		4.50E+05	5.00E-12	10	0.05	4.02E-02	4.02E-02
	调 1		1.10E+03	5.00E-12	10	0.05	9.82E-05	9.82E-05
	调 2		7.50E+02	5.00E-12	10	0.05	6.70E-05	6.70E-05
	调 3		1.76E+04	5.00E-12	10	0.05	1.57E-03	1.57E-03
	运 2	1#	4.14E+04	5.00E-12	10	0.05	3.70E-03	9.70E-03
		2#	9.00E+03	5.00E-12	10	0.05	8.04E-04	
		3#	9.00E+03	5.00E-12	10	0.05	8.04E-04	
		4#	4.40E+03	5.00E-12	10	0.05	3.93E-04	
		5#	3.96E+04	5.00E-12	10	0.05	3.54E-03	
		6#	1.98E+03	5.00E-12	10	0.05	1.77E-04	
		7#	3.30E+03	5.00E-12	10	0.05	2.95E-04	

5.2.3.3.2 迷路口处中子剂量率（路径 O-i-D）

迷路入口需考虑束流损失点处的三项中子（杂散中子、杂散中子在墙内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子）在迷路内的散射中子和

中子俘获 γ 射线在 D 处的辐射剂量。

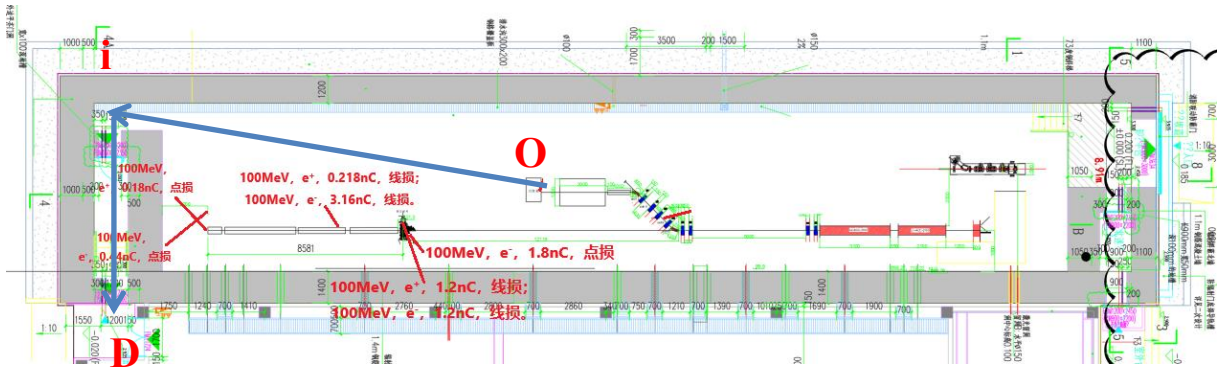


图 5.2-12 射线路径及关注点示意图

反射中子源的按下式计算：

$$\phi_{so} = \phi_o \times \alpha_n \times A / d^2 \quad (5.2-6)$$

式中：

ϕ_{so} 为距离 1 米处来自反向散射源的反射中子的通量率，(m².cm⁻².s⁻¹)；

α_n 为中子反射系数；其取值来自附录 F.12；

A 为后向散射源面积（m²）；

d 为中子源与散射面之间的距离（m）；

表 5.2-10(a) D 点中子注量率的计算

运行模式		ϕ_o (m ² .cm ⁻² .s ⁻¹)	α_n	A(m ²)	d(m)	ϕ_{so} (m ² .cm ⁻² .s ⁻¹)
运 1		4.50E+05	0.11	26.4	18.2	3.95E+03
调 1		1.10E+03	0.11	26.4	6.6	7.33E+01
调 2		7.50E+02	0.11	26.4	6.6	5.00E+01
调 3		1.76E+04	0.11	26.4	21.6	1.10E+02
运 2	1#	4.14E+04	0.11	26.4	15.9	4.76E+02
	2#	9.00E+03	0.11	26.4	15.9	1.03E+02
	3#	9.00E+03	0.11	26.4	15.9	1.03E+02
	4#	4.40E+03	0.11	26.4	11.9	9.02E+01
	5#	3.96E+04	0.11	26.4	11.9	8.12E+02

	6#	1.98E+03	0.11	26.4	6.6	1.32E+02
	7#	3.30E+03	0.11	26.4	6.6	2.20E+02

①迷路入口的中子俘获 γ 射线的剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

中子俘获 γ 射线，迷路入口处门外 30cm（D 点）处无防护门时的剂量率 $\dot{H}_\gamma$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）的计算按下式：

$$\dot{H}_\gamma = K \cdot \phi_{so} \cdot 10^{-d_2/\text{TVD}} \cdot 3.6 \times 10^9 \quad (5.2-7)$$

式中：

K 为中子俘获伽马射线当量剂量（Sv）与 i 位置中子总注量的比值；根据 McGinley, P.H. (1998). Personal communication (Emory University, Atlanta, Georgia) 在 22 个加速器设施进行的测量，K 取平均值 6.9×10^{-16} ，单位为 Sv/（中子数. m^2 ）；

常数（ 3.6×10^9 ）= 3600 s/h $\times 10^6 \mu\text{Sv/Sv}$ ；

ϕ_{so} 为 i 处的总中子注量率，（中子数. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ）；

d_2 为 i 点到 D 点的距离，m；

TVD 为将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（什值距离），m。

表 5.2-10(b) 迷路入口 D 处的中子俘获 γ 射线的剂量率 $\dot{H}_\gamma$

运行模式	$\phi_{so} (\text{m}^2.\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1})$	$d_2(\text{m})$	TVD(m)	$\dot{H}_\gamma$ ($\mu\text{Sv/h}$)	求和 ($\mu\text{Sv/h}$)
运 1	3.95E+03	9.2	5.4	1.94E-04	1.94E-04
调 1	7.33E+01	9.7	5.4	2.91E-06	2.91E-06
调 2	5.00E+01	9.7	5.4	1.99E-06	1.99E-06
调 3	1.10E+02	9.2	5.4	5.38E-06	5.38E-06
运 2	1#	4.76E+02	9.2	2.34E-05	9.18E-05
	2#	1.03E+02	9.2	5.08E-06	

	3#	1.03E+02	9.2	5.4	5.08E-06	
	4#	9.02E+01	9.2	5.4	4.43E-06	
	5#	8.12E+02	9.2	5.4	3.99E-05	
	6#	1.32E+02	9.7	5.4	5.24E-06	
	7#	2.20E+02	9.7	5.4	8.74E-06	

②迷路入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

加速器测试大厅内的中子经迷路散射后在迷路入口处门外 30cm（D 点）处无防护门时的剂量率 $\dot{H}_n$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）按下式计算：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \phi_{so} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \times 3.6 \times 10^9 \quad (5.2-8)$$

式中：

2.4×10^{-15} 为该计算方法中的经验因子， $\text{Sv}/（\text{中子数} \cdot \text{m}^{-2}）$ ；

常数 $（3.6 \times 10^9） = 3600\text{s/h} \times 10^6 \mu\text{Sv/Sv}$ ；

ϕ_{so} 为 N 处的总中子注量率， $（\text{中子数} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}）$ ；

S_0 为迷路入口面积， m^2 ；

S_1 为迷路横截面积， m^2 ；

d_2 为 i 点 D 点的距离，m；

T_n ——什值距离。 T_n 是一个经验值，与迷路横截面积有关， T_n 按下式（5.2-9）计算：

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (5.2-9)$$

表 5.2-10(c) 迷路入口 D 处中子剂量率

运行模式	ϕ_{so} （中子 数 $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）	$S_0(\text{m}^2)$	$S_1(\text{m}^2)$	$d_2(\text{m})$	$T_n(\text{m})$	（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	求和 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）
运 1	3.95E+03	10.56	13.2	9.2	7.5	1.80E-03	1.80E-03
调 1	7.33E+01	10.56	13.2	9.7	7.5	2.87E-05	2.87E-05

调 2	5.00E+01	10.56	13.2	9.7	7.5	1.95E-05	1.95E-05
调 3	1.10E+02	10.56	13.2	9.2	7.5	5.00E-05	5.00E-05
运 2	1#	4.76E+02	10.56	13.2	9.2	7.5	2.17E-04
	2#	1.03E+02	10.56	13.2	9.2	7.5	4.71E-05
	3#	1.03E+02	10.56	13.2	9.2	7.5	4.71E-05
	4#	9.02E+01	10.56	13.2	9.2	7.5	4.11E-05
	5#	8.12E+02	10.56	13.2	9.2	7.5	3.70E-04
	6#	1.32E+02	10.56	13.2	9.7	7.5	5.16E-05
	7#	2.20E+02	10.56	13.2	9.7	7.5	8.60E-05

叠加前述计算的迷路入口 D 处的 X 射线辐射剂量率，则 D 点处（无防护门）的剂量率见下表所列：

表 5.2-10(d) 迷路入口 D 处光子及中子剂量率汇总

/	X 线	光中子		求和
运行模式	$\dot{H}_{FT}$ (μSv/h)	$\dot{H}_{\gamma}$ (μSv/h)	$\dot{H}_n$ (μSv/h)	μSv/h
运 1	8.13E-09	1.94E-04	2.06E-08	1.94E-04
调 1	5.60E-02	2.91E-06	2.01E-08	5.60E-02
调 2	3.09E-02	1.99E-06	2.01E-08	3.09E-02
调 3	5.52E-03	5.38E-06	2.06E-08	5.52E-03
运 2	1.01E+01	9.18E-05	8.60E-04	1.01E+01

从上述计算可知，迷路入口 D 处（无防护门）辐射剂量率最大为 10.1μSv/h，为运行模式 2 下的预测结果。

5.2.3.4 防护门的屏蔽

中子俘获γ射线以铅屏蔽，对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽。本项目南迷宫入口处 D 点已设有 1 个 7cmPb+6cm 含硼聚乙烯+8cmPb 的防护门。

迷路入口处的 X、γ线辐射剂量率为 $\dot{H}_{FT}$ 、 $\dot{H}_{\gamma}$ 之和，再按下式

（5.2-10）和式（5.2-11）计算屏蔽透射因子，再按式（5.2-12）计算防护门外的辐射剂量率，详见下表。

$$B_x = 10^{-\left(\frac{X_\gamma}{TVL_\gamma}\right)} \quad (5.2-10)$$

$$B_n = 10^{-\left(\frac{X_n}{TVL_n}\right)} \quad (5.2-11)$$

$$\dot{H} = \dot{H}_{FT} \times 10^{-\left(\frac{X_{FT}}{TVL_{FT}}\right)} + \dot{H}_\gamma \times 10^{-\left(\frac{X_\gamma}{TVL_\gamma}\right)} + \dot{H}_n \times 10^{-\left(\frac{X_n}{TVL_n}\right)} \quad (5.2-12)$$

表 5.2-10(e) 迷路入口 D 防护门外辐射剂量率

运行模式	防护门外剂量率（μSv/h）
运 1	6.75E-07
调 1	5.60E-05
调 2	3.10E-05
调 3	5.54E-06
运 2	1.01E-02

从上述计算可知，考虑防护门的屏蔽效能后，迷路入口 D 处辐射剂量率最大值为 1.01E-02μSv/h，为运行模式 2 下的预测结果。

5.2.3.5 管线口

因工艺需要，波导管及水管、激光孔直穿东侧屏蔽墙。考虑地面下沉的情况，地面下沉1.1m，整个加速器测试大厅净高8.8m，STCF-BTP 装置束流中心线在标高0.1m平面。

表 5.2-11(a) 穿墙孔洞尺寸及局部屏蔽方式

类型	尺寸及局部屏蔽	穿墙方式
波导管 及水管 孔洞	波导孔洞中心标高 1.35m，预留孔洞直径 30cm，波导管及水管直径 8cm，轴向局部屏蔽为 35cm 铅沙+混凝土+25cm 铅沙 (完工后需进行屏蔽效果检测)	直穿
激光孔	激光孔洞中心标高 0.1m，预留孔洞直径 15cm，激光管直径	直穿

超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

孔洞	8cm，轴向局部屏蔽为 35cm 铅沙+混凝土+25cm 铅沙	
线缆斜穿孔	预留孔洞直径 20cm，线缆管直径 10cm，轴向局部屏蔽为 35cm 铅沙+混凝土+25cm 铅沙	斜穿
通风	测试隧道东迷宫上方设一个排风管引出口。通风管道采用“S”形穿墙方式。	S 型穿墙
预埋管	南墙位置采用 DN150 预埋管，数量 3 根，控制区内部预埋管底标高为 3.89m，外部预埋管底标高为 4.91m。	斜穿

注：铅沙密度按 5.675g/cm^3 ，则 35cm 铅沙+25cm 铅沙可等效为 144cm 混凝土。

本次评价主要关注波导（水管）孔洞和激光孔洞，其余斜穿墙的线缆孔及S型穿墙的风管孔不再考虑。

射线路径：O-m-k，考虑 90° 侧向X射线至管线洞口后在洞内经一次散射，如下图所示：

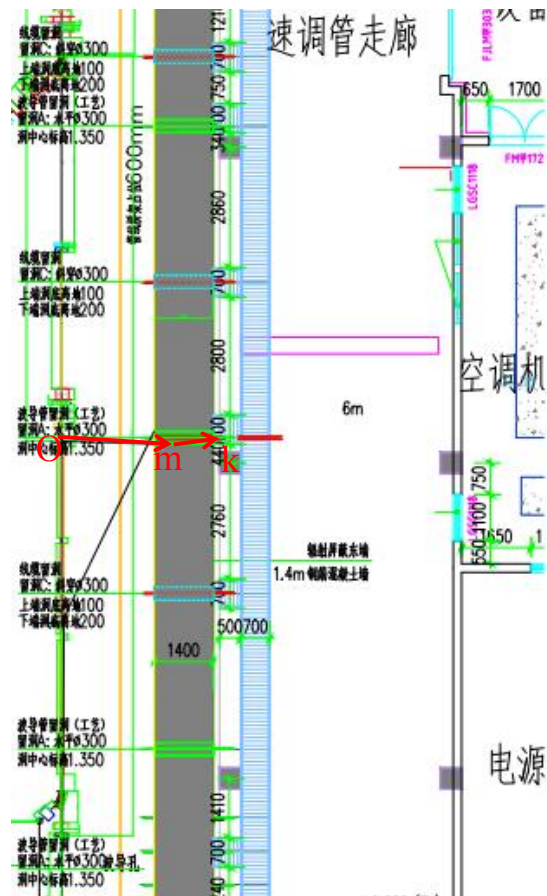


图 5.2-13 射线路径及示意图

泄露辐射在迷路内墙的一次散射路径（O-m-k）按下式计算：

$$\dot{H}_{o-m-k} = \frac{\dot{D}_{I0} \alpha_x AT}{(1.67 \times 10^{-5}) d_1^2 d_r^2} \times 10 \quad (5.2-13)$$

表 5.2-11(b) 波导（水管）孔洞管线口外辐射剂量计算（X 线）

运行模式		$\dot{D}_{I0}$ (rads.m ² .min ⁻¹)	dl (m)	dr (m)	α_x	A(m ²)	T	$\dot{H}_{o-m-k}$ (μSv.h ⁻¹)	汇总 (μSv.h ⁻¹)
运 1		2.88E-01	5.3	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	3.15E-02	3.15E-02
调 1		4.80E-04	3.0	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.66E-04	1.66E-04
调 2		4.80E-04	2.8	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.93E-04	1.93E-04
调 3		7.68E-03	5.2	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	8.71E-04	8.71E-04
运 2	1#	8.64E-03	2.7	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	3.81E-03	8.35E-03
	2#	2.88E-03	2.7	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.27E-03	
	3#	2.88E-03	2.7	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.27E-03	
	4#	9.60E-04	4.5	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.49E-04	
	5#	8.64E-03	4.5	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	1.35E-03	
	6#	2.59E-04	3.0	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	8.98E-05	
	7#	1.06E-03	2.8	1.7	3.00E-03	5.02E-03	1	4.26E-04	

表 5.2-11(c) 反射的中子注量率的计算

运行模式	ϕ_0 (m ² .cm ⁻² .s ⁻¹)	α_n	A(m ²)	d(m)	ϕ_{so} (m ² .cm ⁻² .s ⁻¹)
运 1	4.14E+04	0.11	5.02E-03	5.3	8.02E-01
调 1	9.00E+03	0.11	5.02E-03	3.0	5.52E-01
调 2	9.00E+03	0.11	5.02E-03	2.8	6.42E-01

调 3		4.40E+03	0.11	5.02E-03	5.2	8.83E-02
运 2	1#	4.14E+04	0.11	5.02E-03	2.7	3.23E+00
	2#	9.00E+03	0.11	5.02E-03	2.7	7.02E-01
	3#	9.00E+03	0.11	5.02E-03	2.7	7.02E-01
	4#	4.40E+03	0.11	5.02E-03	4.5	1.21E-01
	5#	3.96E+04	0.11	5.02E-03	4.5	1.09E+00
	6#	5.40E+02	0.11	5.02E-03	3.0	3.31E-02
	7#	3.30E+03	0.11	5.02E-03	2.8	2.35E-01

表 5.2-11(d) 波导（水管）孔洞的中子俘获 γ 射线的剂量率

运行模式		ϕ_{so} ($m^2 \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$)	d2(m)	TVD(m)	$\dot{H}_\gamma$ ($\mu Sv \cdot h^{-1}$)	汇总 ($\mu Sv \cdot h^{-1}$)
运 1		8.02E-01	1.7	5.4	9.65E-07	9.65E-07
调 1		5.52E-01	1.7	5.4	6.64E-07	6.64E-07
调 2		6.42E-01	1.7	5.4	7.72E-07	7.72E-07
调 3		8.83E-02	1.7	5.4	1.06E-07	1.06E-07
运 2	1#	3.23E+00	1.7	5.4	3.88E-06	7.35E-06
	2#	7.02E-01	1.7	5.4	8.44E-07	
	3#	7.02E-01	1.7	5.4	8.44E-07	
	4#	1.21E-01	1.7	5.4	1.46E-07	
	5#	1.09E+00	1.7	5.4	1.31E-06	
	6#	3.31E-02	1.7	5.4	3.99E-08	
	7#	2.35E-01	1.7	5.4	2.83E-07	

表 5.2-11(e) 波导（水管）孔洞的中子剂量率

运行模式	ϕ_{so} ($m^2 \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$)	$S_0(m^2)$	$S_1(m^2)$	d2(m)	Tn(m)	$\dot{H}_n$ ($\mu Sv \cdot h^{-1}$)	汇总 ($\mu Sv \cdot h^{-1}$)
运 1	8.02E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.45E-06	1.45E-06
调 1	5.52E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	9.97E-07	9.97E-07
调 2	6.42E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.16E-06	1.16E-06
调 3	8.83E-02	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.59E-07	1.59E-07
运 1#	3.23E+00	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	5.83E-06	1.10E-05

2	2#	7.02E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.27E-06	
	3#	7.02E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.27E-06	
	4#	1.21E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	2.19E-07	
	5#	1.09E+00	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	1.97E-06	
	6#	3.31E-02	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	5.98E-08	
	7#	2.35E-01	5.02E-03	5.02E-03	1.7	0.1	4.25E-07	

表 5.2-11(f) 波导（水管）孔洞剂量率汇总

运行模式	X 线	光中子		求和（μSv/h）
	$\dot{H}_{FT}$ (μSv/h)	$\dot{H}_y$ (μSv/h)	$\dot{H}_n$ (μSv/h)	
运 1	3.15E-02	9.65E-07	1.45E-06	3.15E-02
调 1	1.66E-04	6.64E-07	9.97E-07	1.68E-04
调 2	1.93E-04	7.72E-07	1.16E-06	1.95E-04
调 3	8.71E-04	1.06E-07	1.59E-07	8.71E-04
运 2	8.35E-03	7.35E-06	1.10E-05	8.37E-03

从上述计算结果可知波导（水管）孔洞外剂量率最大值为 3.15E-02μSv/h；激光孔洞位于物理线北侧（束流方向向南），束流损失点至激光孔洞的连线与束流线的夹角均大于 90 度，且各损失点至激光孔洞的距离也更远，因此，激光孔洞外的剂量率会远低于波导（水管）孔洞；其他穿墙管线洞口均采取斜穿或 S 型折线穿过屏蔽墙，未破坏屏蔽墙的屏蔽性能。

5.2.3.6 小结

通过以上计算，加速器测试大厅外关注点瞬时剂量率如下表 5.2-12 所列。从经验公式计算结果来看，整体来看，运行模式 2 下屏蔽体外剂量率较大，其中辐射剂量率最大值为 1.64μSv/h（位于南侧迷路外墙 F1 处），所有预测点位的辐射剂量率均低于 2.5μSv/h。

表 5.2-12 加速器测试大厅屏蔽体外关注点处总剂量率汇总表（X+n）

关注点	关注点位置描述	调试模式 1	调试模式 2	调试模式 3	运行模式 1	运行模式 2
		最大剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）				
A	西墙外 30cm 处	2.54E-01	9.99E-05	4.43E-01	2.27E-02	8.43E-02
B	东墙外 30cm 处	2.22E-03	1.59E-03	2.49E-03	4.62E-02	1.44E+00
G1	北大门外 30cm 处	1.99E-04	1.33E-04	9.56E-03	1.80E-01	3.05E-02
G2	北墙外 30cm 处	1.18E-08	6.74E-09	5.06E-08	2.47E-07	1.01E-05
F1	南墙外 30cm 处	2.89E-06	1.17E-06	2.76E-03	9.56E-05	1.64E+00
F2	南墙外 30cm 处	2.40E-05	1.52E-05	1.83E-06	2.44E-07	3.84E-03
H	顶墙外 30cm 处	3.25E-04	1.98E-04	1.85E-03	4.02E-02	1.42E-01
D	南迷宫门外 30cm 处	5.60E-05	3.10E-05	5.54E-06	6.75E-07	1.01E-02
/	波导（水管）孔洞	1.68E-04	1.95E-04	8.71E-04	3.15E-02	8.37E-03

5.2.4 建模仿真与经验公式预测结果校验分析

从建模仿真与经验公式预测结果对比分析可知：相对于建模仿真结果，经验公式预测结果更趋于保守。可能的原因有1）模型简化程度，比如经验公式对于束流模式的简化考虑（将沿程线束简化为点损失、未考虑连续损失或间断性损失），导致公式计算结果过于保守或误差显著；2）物理过程覆盖范围差异，经验公式假设均匀辐射场，依赖预定义的屏蔽参数，对中子、光子等次级辐射的耦合效应处理粗略，而蒙特卡洛仿真则通过粒子输运内核直接计算中子、光子等次级粒子的产生与衰减，能动态模拟能量损失、核反应等复杂过程，能模拟能量依赖的次级粒子（如中子、 γ 射线）分布，尤其在100MeV高能电子束下，韧致辐射和次级中子贡献显著。

总的来说，利用FLUKA等蒙特卡罗软件进行辐射防护设计和屏蔽计

算，相比于经验公式，可以相对准确地提供剂量大小和全局三维的剂量分布。以下关于人员累积剂量估算时，均采用蒙卡模拟计算的结果。

5.2.5 辐射工作人员受照剂量估算

工作人员受到的外照射剂量可由下式进行计算：

$$H=D \times T \times t \quad (5.2-14)$$

式中，

H 为工作人员年受照剂量，mSv/a；

D 为工作人员所在区域剂量率，mSv/h；

T 为工作人员的居留因子；

t 为工作人员年受照时间，h/a。

（1）各关注点的剂量率水平汇总

STCF-BTP 装置出束期间，屏蔽体外各关注点剂量率水平汇总如表 5.2-13 所示。

表 5.2-13 屏蔽体外各关注点的剂量率水平汇总

关注点	关注点位置描述	最大剂量率（μSv/h）
A	西墙外 30cm 处	0
B1	东墙外 30cm 处（速调管走廊）	0.1
C2	激光洁净室孔洞处	0
C3	控制室	0
D	南迷宫门外 30cm 处	0.01
E	北迷宫门外 30cm 处	0
F1	南墙外 30cm 处	0.82
G1	北大门/墙外 30cm 处	0.001
I	顶屏蔽外 30cm 处	0.78

*注：取上表 5.2-3 中各种调试、运行模式下最大值。

（2）辐射工作人员受照剂量估算

STCF-BTP 安装调试期间，加速器安装调试工作人员主要受到加速器开机时的瞬发辐射和停机后进入加速器测试大厅的感生放射性影响。正常运行期间，加速器运行工作人员主要位于主控室，仅受加速器开机时的瞬发辐射影响。则工作人员的最大受照剂量计算结果见表 5.2-14。

表 5.2-14 调试期间工作人员受照剂量计算结果

工作人员	所在位置		剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$	受照时间，h	受照剂量，mSv	总计，mSv
安装、调试工作人员	瞬发辐射	速调管走廊	0.1	300	0.03	1.03
	感生放射性	加速器测试大厅内部	2.5	400	1	
运行工作人员	瞬发辐射	主控室	0	1300	1	0
维修工作人员	感生放射性	加速器测试大厅内部	2.5	80	0.2	0.2

备注：1、工作人员进入加速器大厅内会受到感生放射性的影响，进入时必须佩戴个人剂量报警仪，大厅内靠近束线处剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 方可进入，保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。保守假设，安装调试期间每名辐射工作人员在加速器测试大厅内的工作时间按 $4\text{h/d} \times 100\text{d}$ 计算。

2.根据项目建设单位提供的资料，每年调试/运行时间：3 个调试模式分别为 100h，运行 1 为 1000h，运行 2 为 300h。辐射工作人员进入加速器大厅内维修，按每次 2h，每年 40 次计算。

考虑安装/调试及维修工作人员的剂量叠加，则辐射工作人员的最大受照剂量为 1.23mSv 。考虑到本项目辐射工作人员主要来自国家同步辐射实验室，还兼任学校其他辐射工作，叠加国家同步辐射实验室现有辐射工作人员 2024 年全年个人剂量检测统计结果最大值 0.235mSv ，则辐射工作人员年有效剂量最大值为 1.465mSv 。

5.2.6 公众成员受照剂量估算

本项目装置正常运行期间，对公众的辐射影响主要来自 STCF-BTP 装置开机出束期间产生的瞬发辐射直接外照射以及感生放射性气体的排放。

5.2.6.1 瞬发辐射照射

瞬发辐射主要影响对象为加速器测试大厅屏蔽体外周围近距离范围内的公众，本项目主要考虑的公众关注点主要位于加速器测试大厅建筑外部，其所受瞬发辐射照射剂量按 5.2.4 节中式 5.2-14 进行计算。

根据前节表 5.2-13 所列，STCF-BTP 装置调试、运行期间，加速器测试大厅屏蔽体外公众可达处剂量率最大值为 $0.82\mu\text{Sv/h}$ （运行 2 模式：南墙外，为园区内空地），按照加速器每年运行 2 模式时间 1000h 计算，居留因子取 1/16，计算得到该处公众外照射的年受照剂量约为 0.051mSv。

表 5.2-15 调试运行期间公众人员所受附加剂量估算

工作人员	所在位置	剂量率水平， $\mu\text{Sv/h}$	时间，h	居留因子	受照剂量， mSv
公众人员	南墙外，为园区内空地	0.82	1000	1/16	0.051

5.2.6.2 感生放射性废气所致公众附加剂量

本次评价使用 IAEA No.19 报告《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment》中推荐的简单稀释模式，估算加速器正常运行工况下放射性气态流出物的影响，放射性气体对公众的照射途径主要考虑空气浸没外照射和吸入内照射。

5.2.6.2.1 计算公式

（1）与排风口近距离范围内的公众

加速器装置测试大厅放射性气体排风为屋顶排放，排放口高度 H 约

10.5m, 临近最高建筑物高度 H_b 约为 20m, $H < 2.5H_b$, 关注点与放射性气体排放口之间的最近距离 X 约 10m, 最靠近接收点的建筑物 (综合测试大厅) 的最大截面积 A_b 取值为 1800m^2 , 则 $X < 2.5A_b^{0.5}$ (即 $X < 106\text{m}$), 且接收点不在释放点所在建筑物表面时, 则地面空气浓度可由式 (5.2-2) 计算:

$$C_{a,j} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} \quad (5.2-2)$$

式中: $C_{a,i}$ 为下风向 $X(\text{m})$ 距离处的核素 i 的地面空气浓度, Bq/m^3 ;
 P_p 为一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额, 查阅合肥地区的风向玫瑰图 (详见附图中的风向玫瑰图), 合肥地区主导风向为东风, 其频率取 0.25 是相对保守的;

Q_i 为放射性核素 i 的年均排放率, Bq/s ;

u_a 为释放高度上年平均风速, m/s , 取值 $2\text{m}/\text{s}$;

H_b 为邻近最高建筑物高度, 单位为 m ;

K 为经验系数, 单位为 m , 取 $K=1\text{m}$ 。

从上式可以看出, 排放源高度 $H < 2.5H_b$ 且 $X < 2.5A_b^{0.5}$ 时, 下风向核素 i 的地面空气浓度未考虑距离 X 的影响。

(2) 与排风口距离 $X > 2.5A_b^{0.5}$ (即 $X > 106\text{m}$) 时, 关注点处地面空气浓度可由式 5.2-3 计算:

$$c_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (5.2-3)$$

式中:

B 为在下风距离 x 处的高斯扩散因子, $1/\text{m}^2$; 由下式计算:

σ_z 为垂直扩散参数, m ,

接收点的建筑物（B-4 科研楼、B-5 生活服务楼）的最大截面积 A_b 取值为 1780m^2 距离 X 取 530m。

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \sum z}, \quad \sum z = (\sigma_z^2 + A_b / \pi)^{0.5}, \quad \sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1 + 0.0015x}}$$

5.2.6.2.2 参数选取

① Q_i 为放射性核素 i 的年均排放率，Bq/s；

表 5.2-11 放射性核素 i 的年均排放率一览表

放射性核素	$C^*(\text{Bq}/\text{cm}^3)$	排风量, m^3/h	$Q_i(\text{Bq}/\text{s})$
^{11}C	1.56E-05	1800	7.81E+00
^{13}N	1.18E-01	1800	5.90E+04
^{15}O	6.25E-02	1800	3.13E+04
^{41}Ar	2.20E-03	1800	1.10E+03

注：C取值来自表3.3-2（e）中的计算结果。

则各环境保护目标所在位置处地面空气浓度计算结果列于下表。

表 5.2-12 （近距离）公众处地面空气浓度计算结果

保护目标	最近距离	核素	P_p	$Q_i(\text{Bq}/\text{s})$	$u_a(\text{m}/\text{s})$	$H_b(\text{m})$	$K(\text{m})$	$C_{ai}(\text{Bq}/\text{m}^3)$
综合测试大厅	20m	^{11}C	0.25	7.81E+00	2	20	1	1.55E-02
		^{13}N	0.25	5.90E+04	2	20	1	1.17E+02
		^{15}O	0.25	3.13E+04	2	20	1	6.22E+01
		^{41}Ar	0.25	1.10E+03	2	20	1	2.19E+00

表 5.2-13 （远距离）公众处地面空气浓度计算结果

保护目标	最近距离	核素	P_p	$Q_i(\text{Bq}/\text{s})$	$u_a(\text{m}/\text{s})$	$B(1/\text{m}^2)$	$C_{ai}(\text{Bq}/\text{m}^3)$
B-4 科研楼、B-5 生活服务楼	530m	^{11}C	0.25	7.81E+00	2	1.14E-04	1.11E-04
		^{13}N	0.25	5.90E+04	2	1.14E-04	8.41E-01
		^{15}O	0.25	3.13E+04	2	1.14E-04	4.46E-01

		⁴¹ Ar	0.25	1.10E+03	2	1.14E-04	1.57E-02
--	--	------------------	------	----------	---	----------	----------

空气浸没外照射剂量可由式（5.2-4）计算，吸入内照射剂量可由式（5.2-5）计算：

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G_A \quad (5.2-4)$$

$$H_{h-i} = T \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i} \quad (5.2-5)$$

式中：

H_A 为空气浸没照射所致年受照剂量，Sv/a；

t 为年受照时间，s/a；取 1600h/a，即 5.76E+06s/a；

S_f 为建筑物屏蔽因子，对个人取 0.7；

G_A 为各放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子，取值来自 IAEA No.19；

H_{h-i} 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

T 为受照时间，h/a；

u 为公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人取 0.96m³/h；

$C_{a,i}$ 为评价点的核素的地面空气浓度，Bq/m³；

g_{h-i} 为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子，Sv/Bq。

表 5.2-14 剂量转换因子

放射性核素	剂量转换因子	
	G_A 空气浸没 (Sv/s) /(Bq/m ³)	g_{h-i} 食入 (Sv/ Bq)
¹¹ C	4.89E-14	1.80E-11
¹³ N	4.90E-14	/
¹⁵ O	4.91E-14	/
⁴¹ Ar	6.50E-14	/

5.2.6.2.3 计算结果

空气浸没外照射剂量计算结果详见表 5.2-15，吸入内照射剂量计算结果详见表 5.2-16。

表 5.2-15 空气浸没外照射剂量计算结果

保护目标	核素	Cai(Bq/m ³)	t(s/a)	Sf	G _A (Sv/s)/(Bq/m ³)	H _A (Sv/a)	合计 (Sv/a)
综合测试大厅	¹¹ C	1.55E-02	5.76E+06	0.7	4.89E-14	3.07E-09	3.61E-05
	¹³ N	1.17E+02	5.76E+06	0.7	4.90E-14	2.32E-05	
	¹⁵ O	6.22E+01	5.76E+06	0.7	4.91E-14	1.23E-05	
	⁴¹ Ar	2.19E+00	5.76E+06	0.7	6.50E-14	5.75E-07	
B-4 科研楼、B-5 生活服务楼	¹¹ C	1.11E-04	5.76E+06	0.7	4.89E-14	2.20E-11	2.59E-07
	¹³ N	8.41E-01	5.76E+06	0.7	4.90E-14	1.66E-07	
	¹⁵ O	4.46E-01	5.76E+06	0.7	4.91E-14	8.82E-08	
	⁴¹ Ar	1.57E-02	5.76E+06	0.7	6.50E-14	4.12E-09	

表 5.2-16 食入内照射剂量计算结果

保护目标	核素	Cai(Bq/m ³)	t(h/a)	u(m ³ /h)	G _{hi} (Sv/Bq)	H _{hi} (Sv)
综合测试大厅	¹¹ C	1.55E-02	1600	0.96	1.80E-11	4.30E-10
	¹³ N	1.17E+02	1600	0.96	/	
	¹⁵ O	6.22E+01	1600	0.96	/	
	⁴¹ Ar	2.19E+00	1600	0.96	/	
B-4 科研楼、B-5 生活服务楼	¹¹ C	1.11E-04	1600	0.96	1.80E-11	3.08E-12
	¹³ N	8.41E-01	1600	0.96	/	
	¹⁵ O	4.46E-01	1600	0.96	/	
	⁴¹ Ar	1.57E-02	1600	0.96	/	

放射性气体排放所致评价范围内各环境保护目标处公众总受照剂量计算结果列于表5.2-17。

表 5.2-17 放射性气体排放所致公众总受照剂量计算结果汇总

保护目标	H _A (Sv/a)	H _{hi} (Sv/a)	合计 (Sv/a)
综合测试大厅	3.61E-05	4.30E-10	3.61E-05

B-4 科研楼、B-5 生活服务楼	2.59E-07	3.08E-12	2.59E-07
-------------------	----------	----------	----------

5.2.6.2.4 公众受照剂量汇总

保守假设瞬发辐射、放射性气体排放对公众造成的最大剂量在同一处，则该处的公众可能受到的最大个人剂量计算结果见表5.2-18。

表 5.2-18 公众受照剂量汇总

保护目标	瞬时辐射照射 (mSv/a)	天空反散射 (mSv/a)	放射性气体排放 (mSv/a)	总计 (mSv/a)
综合测试大厅	5.13E-02	1.03E-04	3.61E-02	8.75E-02
B-4 科研楼、B-5 生活服务楼	——	3.49E-07	2.59E-04	2.59E-04

注：1.天空反散射所致公众受照剂量结果取自 3.3.1.2 小节，取距离20m 和 500m 处的计算结果。

2. 考虑到 B-4科研楼、B-5生活服务楼处公众距离加速器测试大厅较远，因此可忽略加速器瞬发辐射的影响。

由此可见，STCF-BTP项目工作期间，公众可能受到的最大个人剂量为8.75E-02mSv/a，低于公众剂量约束值0.1mSv/a。

5.3 事故工况下的环境影响

5.3.1 事故情景

表 5.3-1 项目运行期间潜在事故（事件）一览表

序号	事故（事件）描述	可能原因	后果
1	人员误入加速器大厅造成的误照射事故	①分区管理失效； ②安全联锁装置失效； ③工作人员误操作。	误入人员受到超过年剂量照射（一般事故），导致急性放射病或死亡发生（重大事故）
2	工作人员在控制区检修期间误出束	①安全联锁装置失效； ②工作人员误操作。	工作人员受到超过年剂量照射（一般事故），导致

			急性放射病或死亡发生 (重大事故)
--	--	--	----------------------

5.3.2 事故后果分析及预防措施

STCF-BTP 项目加速器设计有功能齐全、安全冗余的高安全等级的安全联锁系统，设有分区控制、清场搜索、紧急停机、声光报警器等安全设备和措施。通过搜索清场功能保障了人员在束流开启前及时离开控制区，防止人员被困在高辐射水平的控制区内；通过急停按钮、紧急开门等功能，保障万一发生人员被困或误入正在出束的控制区内或设备异常等情况时可以紧急关闭辐射源；声光报警和状态指示功能使工作人员了解工作情况，提示人员远离高辐射水平的区域。通过这些措施能够有效防止误入事故的发生。因此，人员误照射事故发生的概率非常小。

此外，为防止人员误照射事故的发生，可采取以下措施加强防范：

1) 为防止各项安全联锁硬件设施失效，应定期检查并确认安全联锁设施的有效性。

2) 开机出束前，撤离加速器控制区时应清点人数，必须按照既定的清场搜索路线和顺序对各区域进行清场。出束期间一旦发现有人滞留，就近按下急停按钮。工作人员进入控制区内部工作时应随身佩戴有效的剂量报警仪，以便随时了解控制区内的辐射水平并在辐射水平超出阈值时发出报警信号。

3) 辐射工作人员需加强专业知识学习，加强辐射安全与防护培训，严格遵守操作规程和规章制度。管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

6 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，辐射工作单位应当设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少安排1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。同时，根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发〔2015〕40号），结合该项目申请的核技术应用类型（使用I类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数1名。辐射安全关键岗位由注册核安全工程师担任。

中国科学技术大学设立了核与辐射安全管理委员会，人员组成如下：

主任：包信和

副主任：王晓平

成 员：王 兵 刘华荣 刘明侯 刘 斌 闫立峰 李良彬

张宪锋 陈卫东 陈向军 金长江 赵 钢 徐允河

黄 方 蒋诗平 褚建勋 魏海明

核与辐射安全管理委员会下设实验室安全办公室，具体负责学校辐射安全与环境保护管理工作，包括负责建立健全学校实验室安全管理制度，开展实验室安全评估、检查和整改督导，组织和监督各学院、重点科研机构开展实验室安全管理、教育培训等。

6.1.2 辐射工作人员的管理

（1）辐射安全与防护考核

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第20号修订，2021年1月4日起施行）及生态环境部发布的《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告2019年第57号），申请者应组织从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识的学习并通过考核，考核不合格的不得上岗。

截至目前，中国科学技术大学共有265名辐射工作人员（详见表6.1-1），其中已获得辐射安全与防护考试合格证书229人，通过学校自主组织的III类射线装置考核36人。其中有3人获得注册核安全工程师证书（详见表6.1-2）。综合以上，学校辐射工作人员在上岗前均通过了生态环境部门认可的电离辐射安全与防护考核。

（2）个人剂量检测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，中国科学技术大学委托了天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司进行个人剂量定期检测。

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每3个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。根据学校规章制度，辐射工作人员进入辐射工作场所必须正确佩戴个人剂量计，并定期送检，发现监测结果异常的，应立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

个人剂量报警仪用于辐射工作人员在控制区内部工作时使用，报警

仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平，能够实施剂量预警。

中国科学技术大学安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终身保存。

从个人剂量检测报告送检结果来看，2024 年 1 月—2024 年 12 月（更新）个人剂量检测报告，学校各单位辐射工作人员共计 265 人，均配置个人剂量计并按期送检，检测结果显示辐射工作人员 2024 年全年所受附加剂量范围在 0.005~1.185mSv 范围内，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，任何一年的有效剂量不超过 50mSv），也满足学校设定的目标管理限值要求（介入手术人员不超过 10mSv，其他辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv）。

（3）职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日起施行）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部第 55 号令）的要求，规定对辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康体检档案。

中国科学技术大学分别于 2024 年和 2025 年组织全校辐射工作人员开展了职业健康检查，体检结果均未发现职业异常。学校建立了个人健康档案，档案中详细记录历次体检报告结果及其评价处理意见，并妥善长期保存。体检报告详见附件 6。

需要注意的是，学校应做好相关统筹规划，及时安排相关人员定期参加体检，确保两次体检的时间间隔不超过 2 年。

表 6.1-1 中国科大辐射工作人员情况汇总表

序号	姓名	学院	岗位类别	考核合格证书编号	2024.1-2024.12 个人剂量检测结果 (mSv)	职业健康检查日期/ 结果
1		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300340	0.02	2024.4-9/可继续可继续从事相应岗位工作
2		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300149	0.02	
3		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300207	0.02	
4		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300188	0.17	
5		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300172	0.05	
6		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300142	0.075	
7		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300194	0.1	
8		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300204	0.02	
9		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300153	0.04	
10		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300161	0.02	
11		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300209	0.22	
12		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300156	0.02	
13		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300116	0.02	
14		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300198	0.03	
15		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300125	0.05	
16		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300173	0.02	
17		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300241	0.02	
18		同步辐射实验室	3F	ZHZC202301002	0.125	
19		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300131	0.02	
20		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300120	0.02	
21		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300123	0.02	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

22		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300185	0.02	
23		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300220	0.02	
24		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300181	0.055	
25		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300169	0.02	
26		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300164	0.045	
27		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300202	0.065	
28		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300162	0.035	
29		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300208	0.02	
30		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300130	0.02	
31		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300183	0.105	
32		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300171	0.02	
33		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300151	0.06	
34		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300170	0.025	
35		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300212	0.09	
36		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300307	0.035	
37		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300166	0.05	
38		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300192	0.02	
39		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300119	0.045	
40		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300205	0.02	
41		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300159	0.125	
42		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300180	0.035	
43		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300174	0.02	
44		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300242	0.045	
45		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300158	0.025	
46		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300145	0.035	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

47		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300186	0.02	
48		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300195	0.2	
49		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300200	0.02	
50		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300111	0.02	
51		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300114	0.02	
52		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300127	0.02	
53		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300139	0.105	
54		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300160	0.09	
55		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300197	0.025	
56		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300128	0.145	
57		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300147	0.02	
58		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300196	0.02	
59		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300187	0.045	
60		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300193	0.02	
61		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300133	0.02	
62		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300218	0.155	
63		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300154	0.105	
64		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300210	0.055	
65		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300225	0.02	
66		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300118	0.025	
67		同步辐射实验室	3F	FS20AH1000108	0.04	
68		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300132	0.07	
69		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300127	0.045	
70		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300135	0.16	
71		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300201	0.07	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

72		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300115	0.15	
73		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300179	0.075	
74		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300182	0.055	
75		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300267	0.02	
76		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300230	0.025	
77		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300111	0.02	
78		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300013	0.025	
79		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300122	0.085	
80		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300188	0.06	
81		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300190	0.085	
82		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300262	0.025	
83		同步辐射实验室	3F	FS20AH1000037	0.02	
84		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300266	0.235	
85		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300268	0.055	
86		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300344	0.065	
87		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300239	0.02	
88		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300140	0.045	
89		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300215	0.055	
90		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300137	0.02	
91		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300222	0.045	
92		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300245	0.02	
93		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300152	0.055	
94		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300228	0.055	
95		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300203	0.02	
96		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300240	0.035	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

97		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300229	0.055	
98		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300199	0.02	
99		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300136	0.025	
100		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300223	0.15	
101		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300168	0.07	
102		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300124	0.02	
103		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300129	0.02	
104		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300117	0.075	
105		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300150	0.02	
106		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300167	0.02	
107		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300121	0.04	
108		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300216	0.035	
109		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300233	0.02	
110		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300214	0.06	
111		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300243	0.1	
112		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300239	0.135	
113		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300238	0.035	
114		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300236	0.02	
115		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300221	0.02	
116		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300211	0.02	
117		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300178	0.16	
118		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300175	0.02	
119		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300126	0.02	
120		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300112	0.06	
121		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300237	0.02	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

122		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300232	0.025	
123		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300213	0.055	
124		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300040	0.02	
125		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300048	0.02	
126		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300049	0.025	
127		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300047	0.08	
128		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300046	0.045	
129		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300052	0.045	
130		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300246	0.02	
131		同步辐射实验室	3F	ZHZC202402012	0.04	
132		同步辐射实验室	3F	FS21BJ2300951	0.02	
133		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300265	0.02	
134		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300173	0.02	
135		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300129	0.02	
136		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300130	0.065	
137		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300113	0.035	
138		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300136	0.02	
139		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300185	0.045	
140		同步辐射实验室	3F	FS21GD2300513	0.085	
141		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300011	0.02	
142		同步辐射实验室	3F	FS20BJ1001763	0.02	
143		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300037	0.045	
144		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300072	0.055	
145		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300074	0.02	
146		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300073	0.025	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

147		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300156	0.02	
148		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300134	0.025	
149		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300141	0.02	
150		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300137	0.07	
151		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300095	0.055	
152		同步辐射实验室	3F	FS23GS2300616	0.04	
153		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300261	0.02	
154		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300215	0.025	
155		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300109	0.06	
156		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300238	0.07	
157		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300184	0.055	
158		同步辐射实验室	3F	FS22AH2300250	0.065	
159		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300108	0.02	
160		同步辐射实验室	3F	FS21AH2300134	0.085	
161		同步辐射实验室	3F	FS23AH2300306	0.02	
162		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300081	0.015	
163		同步辐射实验室	3F	FS24AH2200143	0.03	
164		同步辐射实验室	3F	FS22GD2300795	0.01	
165		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300203	0.01	
166		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300176	0.01	
167		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300232	0.005	
168		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300221	0.02	
169		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300233	0.005	
170		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300234	0.01	
171		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300274	0.005	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

172		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300263	0.005	
173		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300240	0.005	
174		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300239	0.005	
175		同步辐射实验室	3F	FS24AH2300273	0.005	
176		物理学院	6A	FS21AH2300113	0.02	已参加新一轮体检， 体检结果未出
177		物理学院	6A	FS21AH2300190	0.105	
178		物理学院	6A	FS21AH2300163	0.055	
179		物理学院	6A	FS21AH2300144	0.155	
180		物理学院	6A	自主考核	0.05	
181		物理学院	6A	FS21AH2300141	0.125	
182		物理学院	6A	FS23AH2300279	0.075	
183		物理学院	6A	自主考核	0.095	
184		物理学院	6A	FS22AH2300107	0.015	
185		物理学院	6A	自主考核	0.04	
186		物理学院	6A	FS22AH2300103	0.015	
187		物理学院	6A	FS21AH2300191	0.015	
188		物理学院	6A	自主考核	0.015	
189		物理学院	6A	FS22AH2300032	0.055	
190		物理学院	6A	自主考核	0.05	
191		物理学院	6A	FS23AH2300056	0.015	
192		物理学院	6A	FS23AH2300057	0.02	
193		物理学院	6A	FS23AH2300069	0.01	
194		物理学院	6A	FS24AH2300032	0.01	
195		物理学院	6A	FS21SH0300230	0.03	
196		物理学院	6A	FS24AH2300139	0.005	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

197		物理学院	6A	自主考核	0.005	
198		物理学院	6A	自主考核	0.005	
199		物理学院	6A	自主考核	0.005	
200		物理学院	6A	自主考核	0.005	
201		物理学院	6A	FS24AH1600022	0.005	
202		物理学院	6A	FS23AH1600070	0.005	
203		物理学院	6A	FS23AH1600090	0.005	
204		物理学院	6A	FS24AH2300264	0.005	
205		物理学院	6A	FS24AH2300219	0.02	
206		物理学院	6A	FS24AH2300229	0.005	
207		校医院	2A	自主考核	0.135	
208		校医院	2A	自主考核	0.08	
209		校医院	2A	自主考核	0.07	
210		校医院	2A	FS21AH0102098	0.12	
211		校医院	2A	FS21AH0102099	0.19	
212		其他单位	6A	FS24AH2200677	0.015	
213		其他单位	6A	FS21AH1500020	0.05	
214		其他单位	6A	自主考核	0.015	
215		其他单位	6A	自主考核	0.025	
216		其他单位	6A	FS21AH2300057	0.02	
217		其他单位	6A	FS22AH2300109	0.065	
218		其他单位	6A	FS21AH2300165	0.04	
219		其他单位	6A	自主考核	0.015	
220		其他单位	6A	FS24AH2300009	0.09	
221		其他单位	6A	FS24AH2300064	0.135	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

222		其他单位	6A	FS21AH2300184	0.05	
223		其他单位	6A	FS20AH1000158	0.015	
224		其他单位	6A	FS20AH1000006	0.12	
225		其他单位	6A	FS20AH1000152	0.055	
226		其他单位	6A	自主考核	0.07	
227		其他单位	6A	FS24AH1200110	0.14	
228		其他单位	6A	FS21AH2300026	0.02	
229		其他单位	6A	FS23AH2300191	0.05	
230		其他单位	6A	FS22AH0300118	1.185	
231		其他单位	6A	FS21HB0300176	0.01	
232		其他单位	6A	FS21HB0300115	0.01	
233		化学院	6A	FS23AH1500028	0.055	
234		化学院	6A	自主考核	0.01	
235		化学院	6A	自主考核	0.01	
236		化学院	6A	自主考核	0.01	
237		化学院	6A	自主考核	0.005	
238		化学院	6A	自主考核	0.005	
239		化学院	6A	自主考核	0.01	
240		人文学院	6A	FS23AH2300126	0.03	
241		人文学院	6A	FS24AH2300190	0.005	
242		人文学院	6A	自主考核	0.01	
243		人文学院	6A	FS24AH2300015	0.01	
244		人文学院	6A	FS24AH2300012	0.005	
245		人文学院	6A	FS24AH2300322	0.005	
246		人文学院	6A	FS23AH2300259	0.005	

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

247		人文学院	6A	FS23AH2300256	0.005	
248		人文学院	6A	FS23AH2300258	0.05	
249		人文学院	6A	自主考核	0.005	
250		人文学院	6A	自主考核	0.02	
251		人文学院	6A	自主考核	0.04	
252		人文学院	6A	FS24AH2300206	0.005	
253		人文学院	6A	自主考核	0.005	
254		人文学院	6A	自主考核	0.005	
255		人文学院	6A	自主考核	0.005	
256		人文学院	6A	自主考核	0.01	
257		人文学院	6A	自主考核	0.005	
258		人文学院	6A	自主考核	0.005	
259		人文学院	6A	自主考核	0.005	
260		人文学院	6A	自主考核	0.005	
261		人文学院	6A	自主考核	0.005	
262		人文学院	6A	FS24AH2300231	0.005	
263		人文学院	6A	自主考核	0.005	
264		人文学院	6A	FS23AH2300150	0.005	
265		人文学院	6A	FS24AH2200448	0.005	

表 6.1-2 合肥光源配备的注册核安全工程师人员信息

序号	姓名	性别	专业	毕业院校	学历	注册证书编号/资格证书编号
1		男	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	ZHZC202301002
2		男	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	ZHZA202301010
3		女	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	ZHZC202402012

6.2 辐射安全管理规章制度

中国科大根据《放射性同位素与射线装置安全防护管理办法》《实验室安全管理办法》《中国科学技术大学重点监管物品备案管理办法》，落实了放射源/射线装置等重点物品的入口管理，并对各核技术利用项目依法开展日常管理工作。中国科大对全校的安全制度建设进行了阶段性梳理和总结，编制了《中国科学技术大学安全管理规章制度》汇编，涉及辐射安全与防护方面的规章制度如下：《中国科学技术大学安全责任书》《中国科学技术大学重点监管物品备案管理办法》《中国科学技术大学实验室安全管理办法》《中国科学技术大学放射性同位素与射线装置安全防护管理办法》《中国科学技术大学辐射安全与防护管理办法》《辐射事故应急预案》《辐射工作场所监测方案》《辐射工作人员个人剂量监测方案》《辐射工作人员培训方案》《放射性三废处理方案》等。

国家同步辐射实验室（NSRL）有相对完善的辐射安全管理制度和较为严格的管理措施，现有的规章制度如下：《NSRL辐射安全与防护管理组织机构及岗位职责》《NSRL辐射安全暂行管理制度》《NSRL辐射安全应急预案》《NSRL辐射工作场所辐射监测制度》《红外自由电子激光辐射安全制度》《NSRL放射工作人员佩戴个人剂量计的规定》《合肥光源储存环实验大厅安全管理规定》《放射工作人员职业健康管理制度》《放射工作人员放射防护培训制度》《放射工作人员个人剂量监测制度》《合肥光源安全设备检维修制度》《合肥光源人身安全联锁系统操作规程》《合肥光源中央控制室安全守则》《NSRL放射源库安全管理规定》等，内容涵盖了管理制度的适用范围、人员的培训考核要求、工作期间的操作规程、辐射防护安全要求等内容，合肥光源自运行严格落实各项规章制度，未发生辐射事件或事故。

对于用户单位科研人员等外来人员，中国科学技术大学已制定有相应的管理制度《NSRL实验和来访人员辐射安全守则》，可以确保用户单位科研人员等外来人员在本项目运行过程中的辐射安全。

针对本次评价项目，中国科学技术大学已制定了《超级陶浆装置束流测试平台运行操作规程及维护检修方案》《调试方案》等规章制度，同时在完善现有辐射安全相关管理制度的基础上，项目单位的各项操作规程与管理制度是满足要求的。

6.3 生态环境部门检查情况

2025年3月11日，生态环境部华东核与辐射安全监督站对学校各核技术利用项目的辐射安全与防护设施及日常运行管理情况进行了全面检查，共提出检查意见6条。学校积极组织相关涉源单位对相关安全隐患进行了整改，整改工作完成后将隐患整改情况报送生态环境部华东核与辐射安全监督站（详见附件8），具体如下表6.3-1所列。

表 6.3-1 辐射安全监督检查提出的整改要求及整改落实情况

序号	检查发现的问题	整改落实情况
1	上次检查问题完成整改。	/
2	微观磁共振重点实验室电子辐照加速器照明线路故障，不满足《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018）第7.1条“辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。”要求。你单位应	针对安全检查中发现的问题，相关单位进行了认真总结，实验室第一时间排查加速器区域线路，更换烧坏的灯泡，完善落实电子辐照加速器维护检修制度，加强设备停用期间的安全管理：做好常规日检查、定期月检查及半年检查，建立专项档案，记录巡检、维护、测试数据，并重新梳理

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

	在长时间未使用的情况下加强定期检查工作，并梳理辐射安全联锁逻辑，确保其有效。	联锁逻辑（门禁-急停-剂量监测联动）。目前已完成整改。
3	部分场所辐射监测报告中，存在监测项目不完善、部分监测设备校准有效期有误、较多错字漏字等不规范的情况。	学校将安排质量监督人员，专职负责监测全流程合规性审查，增设检测报告复核环节，并要求第三方检测机构在今后检测前应全面核查设备校准状态，提供监测项目清单，优化监测点位布局，确保覆盖辐射工作场所、周边敏感区域及设备运行关键节点；同时要求第三方检测机构重点核查数据逻辑性、文字准确性及格式统一性。目前已完成整改。
4	物理学院放射源暂存库存放杂物，不满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第三十五条“放射性同位素应当单独存放”要求。	加强安全教育，强调辐射安全的重要性，提高放射性物品管理的安全意识；清理整顿，及时清理物理学院放射源暂存库中杂物，确保放射性物品单独存放；加强管理，明确岗位的辐射安全责任，避免因存放杂物引起的安全隐患。目前已完成整改。
5	国家核技术利用辐射安全管理系统上部分辐射工作人员2024年个人剂量未及时登记，不满足《国家核技术利用辐射安全管理系统管理规定》第二十一条“监管数据应当符合真实、准确、及时、完整的要求。”要求。	针对2024年部分辐射工作人员个人剂量未及时登记问题，学校高度重视，立即开展数据补录与核验工作。目前，已完成全部辐射工作人员2024年度个人剂量数据补录工作，并建立双人复核机制，确保录入数据与实际数据完全一致。同时修订辐射工

		作人员管理制度，要求管理人员在每季度初10日前完成上季度剂量数据上传。目前已完成整改。
6	提醒事项：3枚 I 类源计划于近期转移，你单位应落实相应的辐射安全管理要求，确保放射源转移的辐射安全，并做好场所的退役工作。	学校已于2025年3月14日将辐照室剩余的三枚Co-60放射源转让至安徽联合辐化有限大学，并将Cs-137校准源送贮至安徽省城市放射性废物收贮单位。目前该场所已无放射源和放射性废物遗留。 3月21日，学校委托第三方检测大学对贮源井水、井底淤泥、离子交换树脂、辐照室各处表面及周围环境的γ辐射剂量率、β表面污染进行了检测，检测结果表明辐射剂量处于本底水平，满足无限制开放的要求。下一步，我校将向安徽省生态环境厅申请贮源井水排放及辐照装置清洁解控。待通过后，我校将向生态环境部提交辐射安全许可证部分注销申请。

6.4 辐射监测

6.4.1年度辐射监测情况

中国科学技术大学每年委托有资质单位对工作场所及周围环境辐射水平进行监测，监测频次为 1 次/年，监测数据记录存档。2024 年中国科学技术大学委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司（CMA：180220340060）对中国科学技术大学主要环境和辐射工作场所的 X- γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染水平进行检测，执行了相应的监测制度。根据

监测结果，相关辐射工作场所未出现超标等异常情况。

6.4.2 辐射环境监测计划

本项目工作场所监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，自行监测采用安装固定式监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式，监测数据记录存档。具体辐射工作场所监测计划列于表6.4-1。

学校拟配备1台中子巡检仪、1台 γ 剂量巡检仪和1台表面污染仪，定期对本项目周围环境进行巡测及检修时使用。

STCF-BTP已在如图4.3-7的位置设置了固定监测点位，布置中子剂量率和伽玛剂量率监测探头，用于对中子、 γ 辐射水平进行实时监测。监测数据通过有线或无线通讯设备实时传输至终端数据处理中心。

表 6.4-1 项目环境监测计划

监测方式	监测对象		监测项目	监测点位	监测频次
自行监测	贯穿辐射	便携式仪表巡测	γ 辐射剂量率和中子剂量率	屏蔽墙外、防护门外、监督区边界、控制室等人员长居留场所	1次/月
		固定式仪表监测		如图 4.3-7 所示	实时
委托监测	贯穿辐射		γ 辐射剂量率和中子剂量率	辐射工作场所周围及敏感点处	1次/年
	放射性固体废物		γ 辐射剂量率、表面污染水平	外包装表面30cm处	处置前
	环境介质	冷却水	^3H 、 ^7Be 、总 α 、总 β 活度浓度	冷却水取水口	排放前
		土壤	^3H 、 ^7Be 、核素分析	加速器测试大厅周围土壤	1次/年

6.4.3 监测设备配置情况

本项目已（拟）配备的主要辐射监测设备包括：6台固定式 γ 探测器、6台固定式中子探测器、1个便携式 γ 巡检仪、1个便携式中子巡检仪；进

行检修工作时现场每名工作人员均佩戴个人剂量计和直读式个人剂量报警仪。

拟配备的辐射监测仪表应能适应脉冲辐射剂量场测量；中子及 γ 射线监测仪表的能量响应适合STCF-BTP项目的中子及 γ 射线的辐射场；且相关仪表能够测量辐射剂量率和累积剂量，对中子及 γ 射线响应低；相关仪表均按要求定期进行剂量检定，保证在检定有效期内使用。

6.4.4个人剂量监测

（1）个人剂量计

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每3个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。中国科学技术大学委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司（CMA：180220340060）进行辐射工作人员个人剂量检测，检测报告见附件6。

STCF-BTP项目辐射工作人员均由学校现有辐射工作人员兼任，均已配备了个人剂量计，纳入了辐射工作人员管理体系。

（2）个人剂量报警仪

在工作中或停机后，要求到控制区内进行工作的人员必须佩戴可监测中子和伽玛剂量率的辐射剂量报警设备。当瞬时辐射剂量率水平超出设定阈值时报警提示工作人员迅速撤离现场。对评价工作人员在控制区内工作所受到的辐射剂量非常重要。个人剂量报警仪和个人剂量计配合使用，不仅能准确评价工作人员所受辐射情况，更主要的是可以预先估计工作人员受到的照射水平，及时采取措施，以达到保护辐射工作人员的目的。

6.4.5竣工环保验收监测

为有效落实环境保护“三同时”要求，确保环保设施的有效性，根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等法规的要求，本项目竣工后，建设单位应及时向生态环境部重新申领辐射安全许可证，并自主开展竣工环保验收工作，对本项目相关环境保护设施的建设、调试、管理及其效果和污染物排放情况开展查验和监测工作，编制验收监测报告。

建设单位承诺将在STCF-BTP调试阶段委托有资质的检测机构对周围环境开展竣工环保验收监测。

结合项目运行期间的污染源特点、辐射环境质量现状调查因子等，制定了本项目竣工环保验收监测方案，具体见表6.4-2。

表6.4-2竣工环保验收监测方案

监测对象	监测项目	监测点位	监测工况
控制区内部辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	束流管、钨靶、废束桶等区域	射线装置连续运行一段时间，停机1天后。
控制区外部辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	控制区外部四周和屋顶屏蔽墙体外、防护门外、监督区边界、控制室、等人员长居留场所	射线装置开机运行
加速器测试大厅外部环境辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	加速器测试大厅外部周边环境敏感点处	
循环冷却水（若有）	^3H 、 ^7Be 、总 α 、总 β 活度浓度	循环冷却水取水口	调试、运行期间若有冷却水排放，取样并委托有资质单位监测。
土壤	^3H 、 ^7Be	加速器测试大厅周围的土壤	装置完成调试可正

			常出束使用一次后。
--	--	--	-----------

6.5 辐射事故应急

根据GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、环保部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和环保部令第18号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》相关规定，中国科学技术大学制定了关于全校辐射项目的《中国科学技术大学辐射事故应急预案》，内容涵盖了各类辐射事故源项风险分析、应急指挥机构及职责、处置程序、应急保障、预案的修订与实施、应急联系方式、应急物资清单等，一旦发生辐射事故能快速响应，采取有效措施保护辐射工作人员、公众的健康和安全。

发生辐射事故时，应立即启动辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。同时，需进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并做好详细的监测记录。

中国科大通过定期组织各单位辐射安全员开展培训、赴各重点学院开展安全培训等形式学习应急预案。2023年中国科大修订了辐射事故应急预案，补充了辐射照射事故类型及应急处理流程，细化了应急事故发生后的处置程序等内容。至今学校未发生任何辐射事故。

学校各单位对剂量报警装置实行定期检查，学校实行半年检查，确保其工作正常。检查了同步辐射实验室的应急断电流程；通过与操作人员交流确保应急断电流程的有效性。检查了各用源单位的放射源使用及储存情况，对所有场所普及了保险柜、防盗门窗，重点部位加装视频监

控。各核技术利用相关实验室制订了辐射事故应急预案，配备了相应的剂量报警仪、表面污染仪、高灵敏剂量率报警仪、高灵敏辐射巡检仪、个人剂量计，辐照室、同步辐射实验室、同位素实验室、DSA、校医院等场所配备了铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜、铅屏风、铅围脖、中子防护服等辐射防护用品。

通过应急演练，中国科大获得了较完整的应急处置经验。

6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价

对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）第二章第十六条之规定，针对中国科学技术大学从事申请活动种类的能力进行综合分析评价，结果见下表。

表 6.6-1 辐射安全工作条件与项目评价结果对照一览表

序号	环境保护部令第3号要求	评价结果
1	使用Ⅰ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	项目单位已按要求成立了辐射安全与环境保护管理机构，配备了相应资质的专业技术人员，满足要求
	依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任	项目单位已有3名注册核安全工程师，满足要求
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	项目单位拟从事辐射工作的人员需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，方可满足要求
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	合肥先进光源园区已在技术安全楼一层设置了放射

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		性固体废物暂存间，本项目拟依托其运行
4	辐射工作场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	满足要求
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器	满足要求
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	满足要求
7	有完善的辐射事故应急措施	满足要求
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	满足要求
9	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	不开展诊断治疗

6.7 小结

依据本章分析，通过完善环评要求的各项措施后，中国科学技术大学具备从事使用I类射线装置的能力，辐射安全和防护措施有效可行。

7 利益-代价分析

7.1 利益分析

超级陶粲装置（STCF）是正在规划中的下一代对撞机，具有超高亮度、高流强、小动力学孔径、短束流寿命的特性。该项目需要采用大电荷量、低发射度、一定重复频率的正负电子束进行Top-up注入到对撞环中，且注入束流对运行亮度的扰动需要被抑制。项目拟在加速器测试大厅使用一台电子直线加速器（最高能量100MeV，属I类射线装置），用于开展超级陶粲装置加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。

经济效益方面，预期将形成一批具有独立知识产权且具有产业化应用前景的技术成果，同步开展成果产业化工作，包括：联合相关医疗研究单位和企业开展高端束流监测和影像诊断装备技术成果转移；联合相关技术研发企业或创立创新型科技企业，开展高端核仪器和测量仪器以及高品质正负电子源应用技术的产业化运作；吸引高端科研人才，提升区域创新能力；促进合肥地区高技术产业集群发展，提升区域经济竞争力。

社会效益方面，超级陶粲装置将填补国际粒子物理研究的关键空白，为探索强相互作用、夸克禁闭、奇特强子态等重大科学问题提供独一无二的实验平台；为高能物理领域培养大批专业人才，促进学科交叉与创新，提升我国在国际高能物理领域的地位和话语权；提升合肥作为综合性国家科学中心的地位，增强公众科学素养和科技认同感。

综上所述，本项目的建设具有良好的社会效益和经济性效益。

7.2 代价分析

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，本项目位于安徽省合肥市长丰县岗集镇合肥先进光源配套工程加速器测试大厅，不新建主体建筑物，而是依托现有机房进行建设，建设期仅涉及加速器束线安装。

能源方面，项目运行期间需要消耗水、电等能源。

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下两个方面的成本：设备研发制造费用、安装、运行维护及辐射安全防护、应急准备等费用，**预计总投资6280万元，其中环保投资约212万元，占总投资额的3.3%**，主要包含场所新增固定式监测设备、环保设施、环境管理、环境监测、环境影响评价及事故防范措施等费用。

7.2.3 环境代价

本项目建成之后，主要的环境代价有：极少量的辐射穿过屏蔽墙进入周围环境，对工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性物质和有害气体进入大气环境和水环境；每年将有少量的放射性固体废物产生等。

根据前面章节的分析，给环境带来的这些影响均低于国家标准中规定的限值，其影响都是可以接受的。此外，项目运营期间产生的放射性固体废物交由有资质单位处理，不外排进入环境，不会对项目所在区域环境造成影响，但最终的永久处理会付出一定的经济代价，消耗一定的土地资源。

综上所述，该项目具有良好的经济效益和社会效益，扣除一定的环

境负面影响成本后，项目综合效益为正。因此，该项目的实施在效益上是可行的。

7.3 正当性分析

超级陶粲装置（Super Tau-Charm Facility，简称“STCF”）是中国科学技术大学谋划的大科学装置，正在积极争取纳入国家相关规划。STCF是运行在陶粲能区的超高亮度第三代正负电子对撞机装置，其质心能量覆盖范围2-7GeV。相对于当前正在运行的第二代陶粲装置—北京正负电子对撞机，峰值亮度提升了两个量级。STCF有望在量子色动力学（QCD）的色禁闭与核子结构、电弱（EW）统一理论与电荷宇称（CP）对称性破缺、寻找新物理等研究中取得重大突破。

超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）主要开展加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。经分析评价，该项目对工作人员和公众的辐射影响满足国家相关标准要求，该项目对社会所带来的社会效益是大于可能引起的辐射危害的。因此，该项目的实施是正当的。

8 公众参与

8.1 公众参与方案

8.1.1 公众参与目的

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号，自2019年1月1日起施行）的有关规定：依法应当编制环境影响报告书的建设项目应当进行环境影响评价公众参与；环境影响评价公众参与遵循依法、有序、公开、便利的原则；建设单位应当依法听取环境影响评价范围内的公民、法人和其他组织的意见，鼓励建设单位听取环境影响评价范围之外的公民、法人和其他组织的意见；建设单位负责组织环境影响报告书编制过程的公众参与，对公众参与的真实性和结果负责。

通过在项目环境影响评价过程中开展公众参与调查，以收集相关区域公众对项目建设的认识、态度和要求，从而在环境影响评价中能够全面综合考虑公众的意见，吸收有益的建议，使项目的规划设计更趋完善与合理，制定的环保措施更符合环境保护和经济协调发展的要求，提高项目的环境效益和社会效益，从而达到可持续发展的目的。

8.1.2 主要调查内容

调查该项目建设对环境的主要有利影响和不利影响，以及附近居民及企事业单位对建设项目的意见和建议。调查内容主要包括：

- 1) 调查对象对建设项目的态度、所关心或者担心的问题。
- 2) 对建设项目可能引起的环境问题的看法。
- 3) 对建设项目建设与环境管理的建议等。

8.1.3 调查范围和对象

根据该项目所在的地理位置和环境影响特点，确定调查范围和调查

对象为建设项目评价范围内的居民、职工和企事业单位。

8.2 信息公开

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号），建设单位采取在项目场址附近张贴公示、网上发布环境影响公众参与调查公告等方式向公众公开建设项目的环境影响评价信息，并公开征求有关建设项目的环境影响方面的意见和建议。

8.2.1 发布建设项目环境影响公众参与调查公示

①建设单位在确定项目环评单位后，在国家同步辐射实验室网站（<https://www.nslr.ustc.edu.cn/2025/0714/c10985a691240/page.htm>）上进行了第一次公示，公布有关内容，相关图片见图8-1，公众可以在该网站上查看信息公告，并通过电话、传真、电子邮件与建设单位或环评单位取得联系，发表意见，公示时间为2025年7月14日至2025年7月25日。



超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

基于此目标，中国科学技术大学开展超级陶聚装置关键技术攻关项目束流测试平台（以下简称“STCF-BTP”）的建设，旨在突破下一代高性能正负电子对撞装置的关键核心技术。

项目地址位于合肥市长丰县岗集镇合肥先进光源配套工程原加速器测试大厅（计划在合肥先进光源配套工程老练平台使用完后进行本项目设备安装使用）。其中合肥先进光源配套工程位于长丰县岗集镇，东至规划支路，西至胡庙路，北侧距科学岛北路约100m，南侧与合肥先进光源基础设施用地相邻。

建设内容：本次评价项目拟依托合肥先进光源配套工程建设的加速器测试大厅，不新建主体建筑物。本项目核心技术利用建设内容为在加速器测试大厅使用一台电子直线加速器（最高能量100MeV，属I类射线装置），用于开展超级陶聚装置加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。

（二）建设单位名称和联系方式

建设单位：中国科学技术大学

单位地址：合肥市蜀山区合作化南路42号

联系人：何老师

联系电话：18255102850

电子邮箱：lijuanhe@ustc.edu.cn

（三）环境影响报告书编制单位名称和联系方式

环评单位：核工业二七〇研究所

联系人：冯工

联系电话：0791-85996398

联系地址：江西省南昌县莲塘镇莲西路508号

（四）环境影响评价工作程序

- ①建设单位委托有资质的环评机构
- ②建设单位进行第一次公众公告（即本公告）
- ③环评机构编制环境影响报告书
- ④建设单位进行征求意见稿公示
- ⑤建设单位向环保主管部门报批环境影响评价文件

（五）主要工作内容

通过对项目所在区域环境现状监测与评价，查明该区域内的环境质量现状。通过对项目进行详细工程分析，明确工程所产生污染物的种类、数量和排放特征。运用合理的评价方法全面评价项目建设对建设地区可能产生的影响，充分征求公众的意见，论证项目的可行性，分析工程环保措施的可行性和可靠性，提出将不利影响减缓到合理可行的最低程度而必须采取的综合防治措施。从环保角度给出工程是否可行的结论，为建设项目的监督管理和环保设施的设计提供科学依据。

（六）征求意见的公众范围

本项目环境影响评价范围内的公民、法人和组织，鼓励环境影响评价范围之外的公民、法人和其他组织参与。

（七）公众意见表的网络链接

http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201810/t20181024_665329.html。

（八）提交公众意见表的方式和途径

公众可以通过信函或电子邮件等方式，在规定时间内将填写的公众意见表等提交建设单位，反映与建设项目环境影响有关的意见和建议。公众提交意见时，应当提供有效的联系方式。

（九）公众提出意见的起止时间

公示之日起10个工作日内。

建设单位：中国科学技术大学

2025年7月14日

COPYRIGHT 2014 中国科学技术大学国家同步辐射实验室

ALL RIGHTS RESERVED. WEB2014

地址：中国 合肥市合作化南路42号

邮编：230029

邮箱：nsrl@ustc.edu.cn



国家同步辐射实验室
NATIONAL SYNCHROTRON RADIATION LABORATORY



国家同步辐射实验室公众号

图8.2-1 第一次网上公示截图

9 结论与建议

9.1 项目工程概况

为突破下一代高性能正负电子对撞装置的关键核心技术，中国科学技术大学开展超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（以下简称“STCF-BTP”）的建设。该项目于2022年4月27日经校长工作会议审议同意立项。

项目地址位于合肥市长丰县岗集镇合肥先进光源配套工程加速器测试大厅（计划在合肥先进光源配套工程老炼平台退役后实施本项目）。

项目拟依托合肥先进光源配套工程已建加速器测试大厅，不新建主体建筑物。本项目核技术利用建设内容为在加速器测试大厅使用一台电子直线加速器（最高能量100MeV，属I类射线装置），用于开展超级陶粲装置加速器关键部件（如正负电子源、束流监测设备）的性能测试，为STCF主体工程提供预研数据支撑。

项目预计总投资约为约6280万元人民币，其中环保投资约212万元，占总投资的3.3%。

该项目建成后主要用于开展科研活动，为相关领域的创新和发展作出更大贡献。

项目调试及运行期间产生的瞬发辐射和感生放射性为该项目主要的污染源。

9.2 辐射安全与防护

（1）辐射工作场所分区：本项目拟依托的加速器测试大厅已建成，已按照控制区和监督区对辐射工作场所进行划分，采取安全控制措施严防人员进入控制区内。

（2）辐射安全联锁系统：STCF-BTP建立了安全、冗余的辐射安全联锁系统，包括钥匙控制、清场搜索、急停按钮、声光报警器，以及状态指示信号、视频监控以及放射性警告标志和中文警示说明，可有效防止工作人员和公众受到意外照射。

（3）辐射屏蔽：经计算，已建成的加速器测试大厅能满足本项目100MeV直线加速器运行及调试工况下的屏蔽需求，能确保辐射工作场所屏蔽体外瞬时剂量率均低于其剂量率控制水平。

（4）通风系统：加速器装置测试大厅已建设了通风系统，其排风量、换气次数等的设计均能确保排入环境中的放射性废气对环境及公众的影响满足相关标准要求。

（5）工作场所辐射监测系统：加速器装置测试大厅已设置了3个固定式辐射监测点位，本项目拟新增3个，共计6个固定式辐射监测点（共设6套固定式中子和 γ 探测器），对场所剂量率水平进行实时监测和显示，确保工作人员和公众的安全。

9.3 环境影响分析

本项目不涉及建筑工程施工，建设期工程量非常小，产生废水、噪声、固体废物经妥善处置后对外环境的影响是可接受的。

经过理论预测，已建成的加速器测试大厅的屏蔽措施能满足STCF-BTP项目调试、运行需求，屏蔽体外辐射剂量率符合国家标准规范的要求。本项目调试、运行所致辐射工作人员及公众年受照剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的20mSv/a的职业照射有效剂量基本限值和1mSv/a的公众照射有效剂量基本限值，也低于此次评价确定的剂量约束值（分别为职业人员5mSv/a、公众0.1mSv/a）。

经过理论预测，本项目所排放的活化气体对公众影响极其轻微。

本项目产生的放射性固体废物主要为废束流管等，依托园区技术安全楼已设置的放射性固体废物暂存库暂存。拆除的活化结构部件若存在比活度超过豁免限值的，应集中存放在暂存间内，经暂存一定时间后满足解控条件的可清洁解控，不满足解控要求的最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

臭氧和二氧化氮的室内浓度及排放浓度均满足标准限值要求；生活废水排入市政污水管网，不会直接排入当地水体。项目产生的一般工业固体废物由物资公司回收利用，生活垃圾由环卫部门收集处置。非放射性污染物均得到了有效治理与处置，对环境影响轻微。

9.4 辐射安全管理

中国科学技术大学已成立了专门的辐射安全与防护管理委员会，并建立了一系列辐射安全管理制度，内容涵盖人员岗位职责、辐射防护、设备检修、人员培训、辐射监测等；制定了辐射工作人员培训制度，确保辐射工作人员在上岗前参加辐射安全与防护考核，并考核合格后方可上岗；已制定的辐射环境监测方案能够满足该项目运行要求。

9.5 结论

综上所述，超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）在严格按照环评中的要求进行建设后，项目调试、运行期间对工作人员和周围环境的辐射影响符合环境保护的要求，该项目对环境的影响是可以接受的。

项目建设单位在落实此报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护能力，故从辐射防护和环境保护的角度考虑，该项目的建设是可行的。

9.6 建议和承诺

（1）建议

①严格落实分区管理制度；完善STCF-BTP调试运行期间各项操作规程，完善现有辐射安全相关管理制度。

②应确保加速器测试大厅通风措施有效，降低空气中放射性物质浓度。

③建立放射性固体废物出入库台账制度。

④辐射事故应急要求：项目建设单位应根据可能发生的辐射事故风险，制订完善的辐射事故应急预案，并定期演练。

⑤项目建成后，如因科研需求，调整或扩大建设区域的情况，应按照国家法规制度，根据项目变动情况，开展环境影响后评价或重新进行环境影响评价。

⑥本项目运行结束后，如不再使用，应按规定实施退役，并对放射性固体废物妥善处置，对场地表面污染进行检测及去污。

（2）承诺

为了保证人员和环境安全，学校做出如下承诺：

①严格遵守国家相关规定，在取得《辐射安全许可证》后方可开展STCF-BTP相关调试运行工作。

②按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）的要求，做好放射性固体废物的分类收集、包装和暂存工作。

③按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）第四十二条之规定编写放射性同位素安全与防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报送辐射安全许可证发证机关。

9.7“三同时”竣工环保验收一览表

表 9.7-1 “三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容		验收要求
管理措施	管理机构	成立辐射安全管理领导小组，辐射安全负责人通过核技术应用辐射安全与防护知识考核。本项目申请的核技术应用类型（使用 I 类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数 1 名，辐射安全关键岗位应由注册核安全工程师担任		辐射安全负责人须学习辐射安全与防护知识并通过考核，并执有注册核安全工程师证书
	管理措施	应有健全的设备操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、工作人员个人剂量监测与管理、工作场所辐射监测方案及辐射事故应急预案等		根据要求修订完善
加速器装置测试大厅屏蔽措施		尺寸	外轮廓：48.2m（长）*10.0m（宽）*10.9m（高）；房屋净尺寸：45.6m（长）*7.4m（宽）*8.8m（高），加速器坑道为半地下结构，完成面标高-1.1m	居留因子 $T > 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 居留因子 $T \leq 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$
		西侧屏蔽墙	厚度为1.2m	
		南侧迷宫外墙	厚度为1.5m	
		南侧迷宫内墙	长6.2m、高3.5m、厚度为1.5m，迷宫顶板厚1.0m	
		南迷宫门	外入口设置推拉防护门，7cmPb+6cm含硼聚乙烯+8cmPb，门与墙体搭接15cm、缝隙 $\leq 1\text{cm}$	
		东侧屏蔽墙	厚度为1.4m	
		北侧迷宫外墙	长5.1m、厚度为1.1m	
		北侧迷宫内墙	长3.7m、高2.7m、厚度为1.4m，迷宫顶板厚1.0m	
		北迷宫门	外入口设置平开防护门，8cmPb+6cm含硼聚乙烯+9cmPb，门与墙	

超级陶粲装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

		体搭接15cm、缝隙≤1cm	
	北大门	门洞尺寸3.0m*3.0m，设置推拉防护门，18cmPb+12cm含硼聚乙烯+15cmPb，门与墙体搭接30cm、缝隙≤1cm	
	顶棚	厚度为0.9m	
	底板	厚度为1.0m	
	波导管及水管孔洞	预留孔洞直径30cm，波导管及水管直径8cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙（完工后需进行屏蔽效果检测）	
	激光孔孔洞	预留孔洞直径15cm，激光管直径8cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙	
	线缆斜穿孔孔洞	预留孔洞直径20cm，线缆管直径10cm，轴向局部屏蔽为35cm铅沙+混凝土+25cm铅沙	
	通风	测试隧道北迷宫上方设一个排风管引出口。通风管道采用“S”形穿墙方式。	
安全措施	设置人身安全联锁系统（包含门禁联锁、巡查按钮、登记按钮、急停按钮、紧急开门按钮、声光报警装置），安全联锁设备设置位置及数量详见表 4.3-2 及图 4.3-2；设置场所辐射监测系统（共布设 6 个固定监测点位，布置伽玛和中子剂量率监测探头）；设置视频监控、双向对讲系统，设置通风系统		按要求落实
	控制区入口处明显位置张贴电离辐射警告标志，监督区地面设置黄色警示线；防护门外应有电离辐射警告标志；门上方应有醒目的工作指示灯		按要求落实
	岗位职责和操作规程等工作制度在合适张贴上墙		按要求张贴
个人防护	辐射工作人员上岗前应学习辐射安全与防护知识并通过考核		按要求落实
	辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测，送检周期不大于 3 个月		按要求佩戴、送检

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

	辐射工作人员开展岗前体检、岗中（周期不大于 2 年/次）及离岗职业健康体检	按要求落实
	拟配置便携式 γ 巡检仪 1 台、便携式中子巡检仪 1 台、表面污染仪 1 台，现场每名检修人员配置 1 支直读式个人剂量报警仪	按要求送检

超级陶浆装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）

表 9.7-2 环保投资一览表

项目	污染物及其防治（辐射防护）措施		投资 （万元）	备注
废水治理	非放射性废水	工作人员生活污水，预处理后排入市政污水管网	/	依托已建化粪池及污水管网
	放射性废水	设备循环冷却水，正常情况下不外排，检修或意外事故情况下排入加速器测试大厅西侧地埋式事故排水暂存池	/	依托已建事故排水暂存池
废气治理	非放射性废气	通过辐射工作场所通风系统，外排大气环境	/	依托现有通风设施
	放射性气态流出物			
固体废物处置	非放射性固体废物	工业固体废物收集后由物资公司回收利用；危险废物由学校统一委托有资质单位处置；生活垃圾由环卫部门统一集中收集后处理	/	依托现有收储运体系
	放射性固体废物	分类包装后暂存于放射性固废暂存库，定期送交有资质单位处置	/	依托合肥先进光源园区在技术安全楼一层设置的放射性固体废物暂存间
辐射屏蔽措施	依托已建成的加速器测试大厅		/	依托现有
安全设施与措施	安全联锁系统、监测系统、监控系统		137	改建
	便携式辐射巡检仪、个人剂量报警仪		30	新增
环境影响评价及环保验收			45	/
合计	/		212	/